

Modelle und Versuche zur automatischen Schräglichtschattierung

(Ein Beitrag zur Computer-Kartographie)

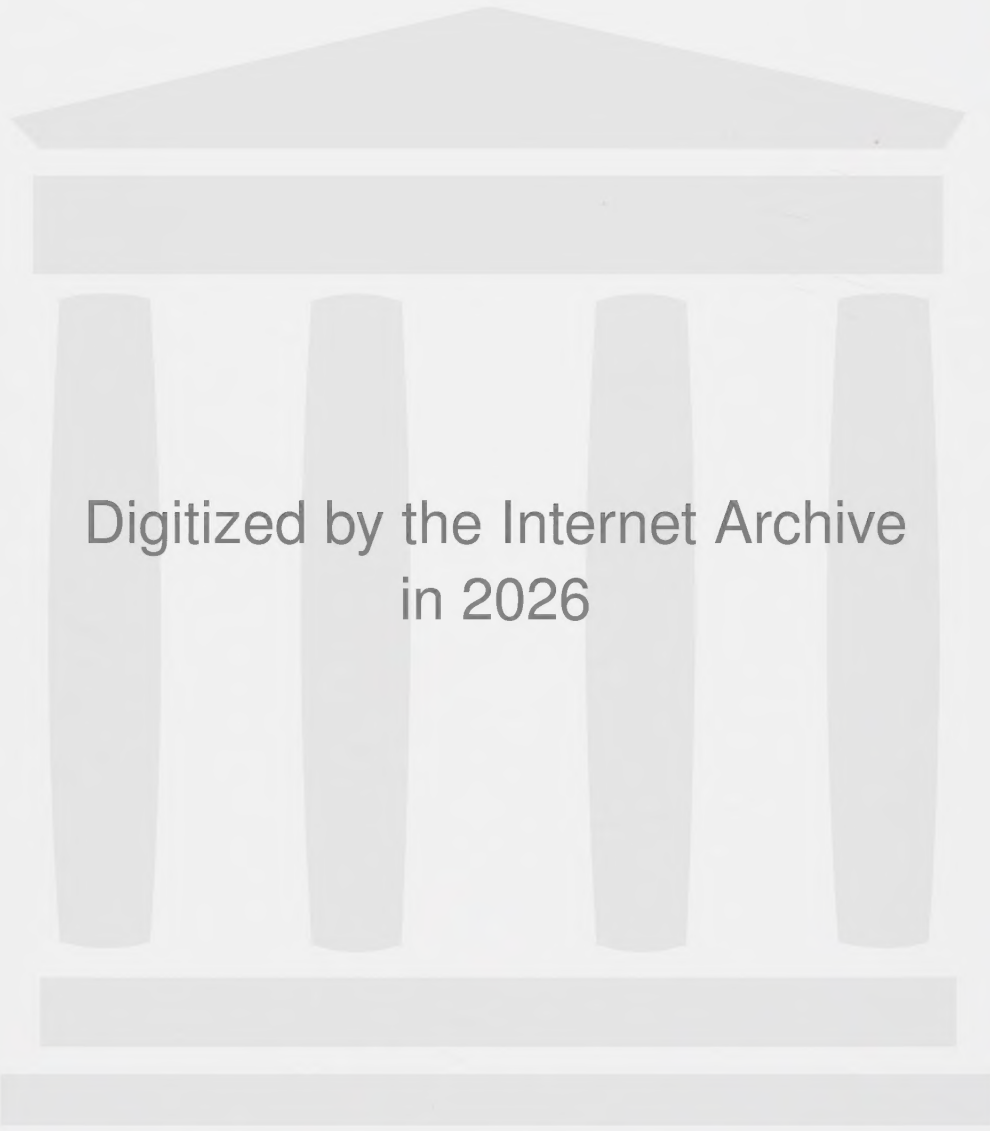
Inaugural-Dissertation
zur Erlangung
der philosophischen Doktorwürde

vorgelegt
der Philosophischen Fakultät II
der Universität Zürich

von
Kurt Brassel
aus St. Margrethen SG

begutachtet von den Herren
Prof. Dr. H. Boesch und Prof. E. Spiess (ETHZ)

Zürich 1973
Buchdruckerei E. Brassel, 7250 Klosters



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Modelle und Versuche zur automatischen Schräglichtschattierung

(Ein Beitrag zur Computer-Kartographie)

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung
der philosophischen Doktorwürde

vorgelegt
der Philosophischen Fakultät II
der Universität Zürich

von
Kurt Brassel
aus St. Margrethen SG

begutachtet von den Herren
Prof. Dr. H. Boesch und Prof. E. Spiess (ETHZ)

Zürich 1973
Buchdruckerei E. Brassel, 7250 Klosters



ZUSAMMENFASSUNG

Ausgangspunkt zu dieser Arbeit sind die traditionellen Methoden zur Erstellung von Schräglichtschattierungen, wie sie z.B. E. Imhof in seiner 'Kartographischen Geländedarstellung' beschrieben hat. Wir versuchen, handschattierte Reliefzeichnungen mit dem Computer zu imitieren, indem wir objektivierbare Tätigkeiten des manuell arbeitenden Kartographen mit Modellen zu erfassen versuchen, dabei aber Möglichkeiten für subjektives Gestalten offen lassen.

In unseren Untersuchungen stützen wir uns auf die verschiedenen Arbeiten von Yoeli (z.B. Analytische Schattierung, 1965/a). Wie dieser benützen wir rasterbezogenen Höheninformation, greifen daraus einzelne Flächenelemente heraus, beleuchten sie mit einem in der Richtung festgelegten Lichtstrahl und bestimmen auf rechnerischem Wege aus dem Winkel zwischen Lichtrichtung und Flächennormale einen Helligkeitswert. Diese berechneten Helligkeiten werden anschliessend auf dem Schnelldrucker dargestellt.

Um beim Schattieren subjektive Gesichtspunkte berücksichtigen zu können, verwenden wir ausser dem Höhenkotenraster digitalisierte Kanteninformation. Diese entspricht - in vereinfachter Form - der bei der Handschummerung angefertigten Gerippelinienzeichnung und soll die charakteristischen Kanten des Geländes enthalten. Durch Gewichtung der einzelnen Linienzüge hat man die Möglichkeit, einzelne Kammlinien zu betonen und andere abzuschwächen.

Diese Kanteninformation wird abgespeichert und dient dann dazu, die Richtung des Lichtvektors, der die einzelnen Flächenelemente beleuchten soll, lokal an die Geländeform anzupassen. Daneben werden diese Kanten dazu verwendet, um aus grobmaschigen Höhenkotenrastern feinmaschige zu interpolieren. Die entsprechende Interpolationsprozedur ist so angelegt, dass das resultierende Geländemodell bei Kantenlinien schroffe Umbiegungen, an allen anderen Stellen weiche Uebergänge aufweist. Da die Kantenlinien subjektiv gesetzt werden, liegen in dieser Interpolation gewisse Generalisierungsmöglichkeiten. Kantenlinien, die nicht in der Gerippelinienskizze enthalten sind, werden abgerundet, und zusammenhängende Flächen werden ausgeglättet.

In unser Programm haben wir ein Modell eingebaut, mit dem sog. 'luftperspektivische' Effekte erzielt werden können: wir haben die Möglichkeit, den Helligkeitskontrast in hochgelegenen Gebieten zu vergrössern und gegen die Tiefe hin zu verkleinern. Mit Hilfe eines Parameters können zusätzlich die Relieftöne entsprechend der Höhenlage aufgehellt oder abgedunkelt werden.

Die Resultate der verschiedenen Rechenprozeduren sind auf einem Printer IBM 1443 dargestellt worden. Bei diesem Schnelldrucker ist die Zeilenschaltung so verändert worden, dass Kolonnenbreite und Zeilenhöhe gleich sind (0.1 inch). Es sind ferner spezielle Signaturen graviert worden, die von einem kleinen Punkt mit rund 7 % Flächenbedeckung über eine Reihe weiterer runder Zeichen bis zur quadratischen Vollsignatur von 1/10 inch x 1/10 inch reichen. Mit dieser Druckvorrichtung war es möglich, mit geringem Aufwand diverse Varianten der verschiedenen Modelle auszutesten.

Besondere Beachtung ist der Weiterverarbeitung der 'Printeroriginale' geschenkt worden. Es besteht die Möglichkeit, durch photographisches Verkleinern daraus direkt gerasterte Druckplatten zu erstellen. Die Verwendung der Printersignaturen als Druckraster setzt aber ein Verkleinern um einen Faktor 5 - 15 voraus, und daraus resultieren Schattierungen in entsprechend kleinem Massstab. Um die Abhängigkeit des Massstabs vom Druckraster zu lockern, ist versucht worden, aus den berechneten Helligkeiten der Rasterpunkte Zwischenwerte zu interpolieren.

In anderen Versuchen wurde das Punktmuster der Printeroriginale durch photographische Prozesse verwischt; das entstehende Halbtonbild kann dann aufgerastert werden, womit sich ein starkes Verkleinern vermeiden lässt.

Weiter werden Möglichkeiten erörtert, die dargestellten Techniken für die Herstellung von mehrfarbigen Reliefdrukken zu verwenden; Aus der Information des schattierten Printeroriginals (Relief I, Tonplatte) können sekundäre Printeroriginale berechnet werden, die dem Relief II (Kraftplatte), einer Gelbplatte etc. entsprechen. Ausser der Helligkeitsinformation werden dafür unter Umständen weitere Datensätze (Hypsometrie, Seeflächen etc.) beigezogen. Durch Eingabe eines Parameters kann die Rasterung der einzelnen Farbplatten in eine gewünschte Richtung gedreht werden.

An einem Anwendungsbeispiel wird schliesslich demonstriert, dass sich die vorgestellte Schattierungsmethode grundsätzlich auch für die Darstellung nicht-topographischer kontinuierlicher Oberflächen verwenden lässt.

Abschliessend werden Möglichkeiten und Schwächen der einzelnen Modelle kurz diskutiert und einige ökonomische Fragen gestreift.

ABSTRACT

Traditional methods of relief shading, as described, for example, by E. IMHOF in his Kartographische Geländedarstellung (scheduled to appear in English in late 1973), are the basis of the present research. It is attempted to imitate hand-produced relief shading on computer - to describe objectiviable operations in terms of models while leaving room for subjective activity of map designing. Our research is based on various publications of P. YOELI (e.g. , 'Analytical Hill Shading', 1965/b). Like YOELI, we rely on a grid-based digital terrain model. Each grid cell is treated individually; it is illuminated with a beam of light coming in from a fixed direction and the angle between the light beam and the normal to the surface is calculated. On the basis of this angle the light intensity, i. e. , the tonal value of each terrain facet is computed and graphically reproduced on a line-printer.

In order to be able to take into consideration some subjective moments, we require digitized information on important ridge-lines in addition to the grid-based altitude data. This may be thought of as something corresponding to the framework-sketch used in preparing relief shading manually, and should contain the basic characteristics of the relief to be shown. By weighting the different lines we are able to accentuate some ridge-lines while neglecting others. This information on ridge-lines is stored for a later use in adjusting the direction of the light-beam locally to the relief form. In another instance these line data are used to interpolate the grid data on altitude. This procedure produces a digital relief model of a finer grid. Moreover, it brings about a rather abrupt change of surface direction in the vicinity of ridge-lines while in all other places changes are gradual. Since these ridge-lines are laid out subjectively to begin with, this interpolation model permits some sort of generalization. Crest lines which do not appear in this sketch - that is, not stored - are smoothed.

A special algorithm in our program allows us to produce some effects of an atmospheric perspective (IMHOF). It entails an increase in value contrast in higher altitude regions and a decrease in lowlands. Furthermore it is possible to change the tonal value of the relief as as function of altitude.

The graphical output resulting from various computational operations was performed on a printer IBM 1443. In this machine, line feed distance was changed in such a way that printing cells became quadratic, i. e., 0.1 x 0.1 inch. Thirteen special printer symbols were constructed in the shape of full circles which ranged in size from 7 % of the unit area upwards to the full 0.1 x 0.1 inch square. This special installation on the printer allowed us to test several models with no excessive effort.

Attention was paid especially to the reproduction of the so-called 'printer originals'. Photographically reduced, these print-outputs may be used directly for offset printing. As this implies a linear scale reduction of 5 - 15 times, the resulting picture of shading will be on a very small scale. In order to reduce the dependence of scale on screen size, it was tried to interpolate the dot screen for a finer grid.

As an additional experiment we achieved a diffusion of printing symbols by photographic cesses. The resulting picture may then be superimposed with a finer screen for printing and requires a less photographic reduction.

In this paper we also refer to the techniques of generating multicolored relief prints by computer. The information used to produce the printer originals is also used to produce separate sheets for dark shadow (printed in violet), for fully illuminated slopes (yellow), etc. For these manipulations, however, the information on tonal value alone may not suffice and other data, e. g., on altitude of grid points, may have to be incorporated. By entering a parameter into the program, the direction of each screen may be determined in order to avoid Moiré-effects.

The possibility of shading continuous surfaces of non-topographical nature is also demonstrated with an example.

Finally, possibilities and weaknesses of individual models and some economic aspects of such operations are discussed.

INHALTSVERZEICHNIS

MODELLE UND VERSUCHE ZUR AUTOMATISCHEN SCHRAEGLICHTSCHATTIERUNG

	Seite
Zusammenfassung	3
Abstract	4
Inhaltsverzeichnis	7
Verzeichnis der Tafeln	8
Vorwort	9
1. Einleitung und Problemstellung	11
2. Traditionelle Schummerungsmethoden	13
2.1 Schummer und Schatten in Imhofs 'Kart. Geländedarstellung'	13
3. Neuere Methoden zur Veranschaulichung der dritten Dimension	17
3.1 Ueberblick	17
3.2 Analytische Schattierung nach Yoeli	18
4. Technische Grundlagen	25
4.1 Rechenanlage und Nebeneinrichtungen - Programmiersprache	25
4.2 Graustufenberechnung und Darstellung mit Printersignaturen	26
4.3 Datensätze	31
5. Modelle und Versuche zur automatischen Schräglichtschattierung	35
5.1 Zum Modellbegriff	35
5.2 Vorarbeiten	35
5.3 Ueberblick über die Modelle und Versuche	37
5.4 Besprechung wichtiger Prozeduren	40
5.41 Berechnung von Richtungswerten	40
5.42 Interpolation zur Verfeinerung des Höhenkotenrasters	45
5.43 Schräglichtschattierung	53
5.431 Uebersicht über das Programm	53
5.432 Variation der Lichtneigung	55
5.433 Variation der azimuthalen Lichtrichtung	57
5.434 Helligkeitskorrekturen	62
5.44 Interpolation zur Verfeinerung des Darstellungsrasters ('Aufblähen')	67
5.45 Erstellen von farbgetrennten Printeroriginalen mit gedrehtem Raster	69
5.46 Weiterverarbeitung der Printeroriginale	75
6. Beurteilung der erzielten Resultate	77
6.1 Bemerkungen zu den einzelnen Tafeln	77
6.2 Vergleich der Resultate mit den Anforderungen an eine Schräglichtschattierung	80
7. Wirtschaftliche Fragen und Ausblick	85
Literaturverzeichnis	89
Anhang A: Verwendete Begriffe aus der Elektronischen Datenverarbeitung	101
Anhang B: F. Furrer: Verfahrensbeschreibung zur Verwischung des Punktmusters der Printeroriginale	105

In sämtlichen topographischen Reliefbeispielen ist das Gebiet Dt. de Morcles (Schweiz) mit folgenden Begrenzungen dargestellt: (als Ganzes oder in Teilen): 567.5 - 585.0/110.0 - 134.0 (Rechtwinklige Koordinaten der Schweiz, Landesvermessung).

Hinweise im Text wie 'vgl. Tafel 5.3' sind zu verstehen als Tafel 5, Figur 5.3.

	nach Seite
Tafel 1 Speziaisignaturen für den Printer	24
Tafel 2 Vorversuche - Kugel und Kegel	24
Tafel 3 Geometrische Körper zur Demonstration verschiedener Parameter	24
Tafel 4 Ausschnitt aus einem Printeroriginal 1 : 40 000	24
Tafel 5 Demonstration verschiedener Parameter an topographischen Beispielen	34
Tafel 6 'Aufblähen' einer Abbildung	34
Tafel 7 Mehrmaliges 'Aufblähen'	34
Tafel 8 Darstellung der Grundlagendaten, Relief I Landeskarte Schweiz 1 : 200 000	52
Tafel 9 Relief I Landeskarte der Schweiz 1 : 100 000	52
Tafel 10 Relief 100-m-Raster 1 : 500 000, verwischt	
Schwarzdruck	58
Graudruck	58
Tafel 11 Relief 1 : 150 000, 200-m-Raster interpoliert zu 100-m-Raster, verwischt	
Schwarzdruck	64
Graudruck	64
Tafel 12 Relief 1 : 75 000, 50-m-Raster (Ausschnitt), verwischt	
Schwarzdruck	70
Graudruck	70
Tafel 13 Relief 1 : 200 000, 100-m-Raster, 3 Varianten mit versch. Lichtdrehung	
Schwarzdruck	76
Graudruck	76
Tafel 14 Relief 1 : 100 000, 1 : 50 000, 1 : 25 000, Verfeinerung eines 100-m-Rasters durch Interpolation	76
Tafel 15 Relief 1 : 200 000, Verfeinerung von 200- bzw. 400-m-Rastern durch Interpolation	76
Tafel 16 Relief 1 : 200 000, Verfeinerung von 800-m-Rastern zu 100-m-Rastern durch Interpolation, ERTS-Infrarot-Satellitenbild	76
Tafel 17 Wohnbevölkerung 1960 der Region Zürich, 1 : 1 Mio, verschiedene Darstellungsarten	84
Tafel 18 Mehrfarbiges Relief (Versuch)	84

VORWORT

Diese Arbeit entstand in den Jahren 1971 - 1973 unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. H. Boesch (Universität Zürich) und Herrn Prof. E. Spiess (ETH Zürich). Beiden Herren bin ich zu ausserordentlichem Dank verpflichtet. Herr Prof. Boesch hat mich mit grossem Interesse in den grundsätzlichen Fragen beraten und stellte mir einen grossen Teil der Assistenzzeit für meine Arbeit zur Verfügung. Herr Prof. Spiess stand mir in zahlreichen Diskussionen in fachlichen Fragen mit Hinweisen und kritischen Anregungen zur Seite. Als Aussenstehendem gewährte er mir freimütig Zutritt zu den Einrichtungen seines Institutes. Bei beiden Herren möchte ich mich herzlich bedanken.

Ein spezieller Dank gebührt Herrn Dr. Ch. Herrmann, der nicht nur die vorliegende Arbeit anregte, sondern mir auch ständig mit Rat beistand und mich insbesondere bei der Datenaufnahme sowie beim Fertigstellen der Tafeln tatkräftig unterstützte.

Für das Verwischen meiner Punktmuster stützte ich mich auf einen ersten Vorschlag von Herrn F. Furrer vom Kartographischen Institut der ETH Zürich. Auf die Probleme, die sich in diesem Zusammenhang stellen, wird von ihm in einem Anhang hingewiesen. Ich möchte ihm für das Interesse an der ganzen Arbeit und die Ratschläge in reproduktionstechnischen Fragen herzlich danken. Im Bereich der Datenverarbeitung vermittelte mir Prof. C. A. Zehnder wertvolle Hinweise. Fräulein Dr. H. Kishimoto half mir im kartographischen Sektor mit zahlreichen Anregungen weiter. Grosses Interesse an meiner Arbeit zeigte Prof. W. Tobler (Univ. of Michigan) während seines Aufenthaltes in Zürich, und er hat mir wertvolle Hinweise geliefert. Auch die Herren W. Bantel und K. Mayek von der Firma Art. Inst. Orell Füssli AG trugen durch Interesse und Mitarbeit zum Gelingen dieser Arbeit bei. Ihnen allen meinen besten Dank.

Die Firma Art. Inst. Orell Füssli AG Zürich unterstützte mich bei der Reproduktion und dem Druck meiner Tafeln. Die Firmen Contraves AG und Applied Studies International (ASI) Zürich stellten mir ihre Apparaturen für verschiedene Versuche zur Verfügung.

Verschiedene Wissenschaftler anderer Disziplinen haben mich in speziellen Fragen beraten; so möchte ich mich bei den Herren Dipl. Ing. ETH Ch. Hoinkes und Dipl. Ing. ETH M. Bühlmann vom Kartographischen Institut der ETH, dem Physiker Dr. C. Semini und den Mathematikern W. Gander, A. Leuzinger und H. Rüeegger bestens bedanken.

Herr Schmitz, Chefoperator des Rechenzentrums der Universität Zürich und seine Mitarbeiter kamen meinen Sonderwünschen und verschiedenen Anliegen stets entgegen. Herr Pfenning, Techniker der IBM, ermöglichte mir die speziellen Arbeitsweisen auf dem Printer. All diesen Herrn gebührt mein Dank.

Zum grossen Kreis derer, die zu meiner Arbeit beigetragen haben, gehören nicht zuletzt die verschiedenen Kollegen vom Geographischen Institut, so D. Nüesch, F. Fasler, R. Schönenberger, K. Itten, Dr. T. Strüby, Dr. G. Dorigo, M. Monsch, Fräulein E. Schelling, R. Gfeller und H. Maag. Fräulein M. Dimitrow verdanke ich die sorgfältige Ausführung aller Skizzen und Figuren und Fräulein E. Leuzinger die Reinschrift der Arbeit.

Zürich, im Juli 1973

Kurt Brassel

1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

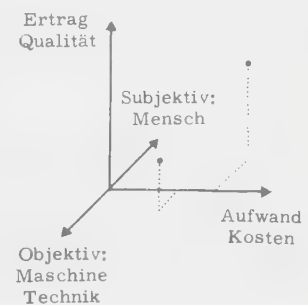
Es ist theoretisch unmöglich, dreidimensionale Gebilde auf zweidimensionalem Papier naturgetreu wiederzugeben. Schon früh hat man aber versucht, das topographische Relief als komplizierte Oberfläche mit verschiedenen graphischen Mitteln festzuhalten. Teils geschah dies mit geometrisch-exakten, teils mit visuell-charakterisierenden Methoden. Unter den zweiten hat sich die Schräglichtschattierung oder -schummerung in den letzten Jahrzehnten weltweit durchgesetzt und nach X. Imfeld (1853 - 1909) und F. Becker (1854 - 1922) mit E. Imhof erneut einen Höhepunkt erlangt. Schräglichtschattierungen sind ein wesentlicher Bestandteil seiner 'schatten- und farbenplastischen' topographischen Karten. Seine Schummerungen zeichnen sich dadurch aus, dass das Relief in einfachen, klaren Formen durchmodelliert ist; sie werden manuell entworfen und stellen bezüglich Formerfassung und zeichnerischer Durchgestaltung hohe Ansprüche an den ausführenden Kartographen. Es geht bei dieser Arbeit nämlich nicht um eine rein reproduktive Wiedergabe eines objektiv gegebenen Sachverhaltes, sondern mit Hilfe von Uebertreibungen, Zusammenfassungen und durch Anpassung der Lichtquelle an die darzustellenden Formen wird ein subjektiv geprägtes Bild geschaffen, das in seiner Gesamtheit die Charakteristik des darzustellenden Gebietes wiedergeben soll. Entsprechend den gestellten Ansprüchen zeichnen sich diese Handschummerungen durch ihre hohe Qualität aus. Graphische Qualität ist das hervorragende Anliegen der Imhof'schen Karten.

Um die Zielsetzung unserer Arbeit zu erläutern, betrachten wir die Figur 1.

Wir haben darin der 'Qualität' den 'Aufwand' und die Polarität

'Mensch-Maschine' als weitere Achsen gegenübergestellt.

Uns interessiert zum einen das Spannungsfeld zwischen Qualität und Aufwand und andererseits das Gegensatzpaar maschinell-technischer und subjektiv-menschlicher Tätigkeiten - immer am Beispiel der Reliefschattierung.



Figur 1

In unserem Koordinatennetz weisen die traditionellen Handschummerungen auf der Aufwand- wie auf der Qualitätsachse hohe Beträge auf; in der dritten Richtung liegt die Betonung auf intuitiver menschlicher Tätigkeit; demgegenüber sind z. B. unretouchierte Reliefphotographien (Zwischenergebnisse des 'Wenschow-Verfahrens') stark technisch orientiert; ihr Aufwand ist geringer, und sie kommen nicht an die Qualität der Handschummerungen heran.

Wir wollen in unserer Arbeit verschiedene Modelle und Techniken austesten, deren Produkte an irgend einem Standort in unserem Koordinatensystem anzusetzen sind. Das Ziel einer ökonomisch ausgerichteten Arbeit wäre es, Wege zu finden, die mit möglichst geringem Aufwand hohe Qualität ermöglichen, wobei die dritte Achse ('Mensch-Maschine') nur von sekundärer Bedeutung ist. Wir verzichten aber bewusst darauf, eine Produktionsmethode zu entwickeln; uns interessiert vor allem das Zusammenspiel Mensch-Technik und im speziellen der Weg von einer Idee zu ihrer technischen Verwirklichung.

Methodisch wollen wir so vorgehen, dass wir zuerst hangeschummerte Schräglichtschattierungen analysieren, Objektivierbares mit einem Modell imitieren und graphisch darstellen. Die Resultate werden dann mit den Handschummerungen empirisch verglichen, und aufgrund dieser Kontrolle verfeinern oder verwerfen wir unser Modell.

Wenn wir von 'Technik' und 'Maschine' gesprochen haben, so denken wir speziell an den Computer mit seinen verschiedenen Nebeneinrichtungen. Für die praktische Durchführung der Versuche wollen wir sog. 'digitale Geländemodelle' verwenden, die sich in unserem Falle aus rasterbezogenen Höhenkotendaten und gespeicherter Gerippelinieninformation zusammensetzen. Mit verschiedenen Versuchen wollen wir Wege zur Erstellung von Schräglichtschattierungen finden, in denen Objektivierbares durch die Maschine ausgeführt wird, dem menschlichen subjektiven Handeln aber der ihm zukommende Raum gelassen wird. Bei den Resultaten wird möglichst hohe Qualität angestrebt, doch soll der Aufwand nicht völlig vernachlässigt werden.

2. TRADITIONELLE SCHUMMERUNGSMETHODEN

Schon seit alters her werden in Kartenoriginalzeichnungen Schummer- und Schattentöne zur Geländedarstellung verwendet. Um die Mitte des letzten Jahrhunderts tritt nach Aufkommen der Lithographie diese Technik erstmals in gedruckten Karten auf. Seither hat sie ständig an Boden gewonnen, hat sich aber erst in der Zeit nach dem 2. Weltkrieg weltweit durchgesetzt. Seit 1945 ist denn auch viel über die Geländeschummerung geschrieben worden; so stammen wichtige Beiträge u. a. von E. Imhof (z.B. 1947, 1959), B. Carlberg (1954), E. Langer (1957), G. Pöhlmann (1958), H. Mietzner (1959), J.S. Keates (1961), F. Hölzel (1962, 1963) und anderen. E. Imhof hat in seinem Lehrbuch 'Kartographische Geländedarstellung' (1965) Schummer und Schatten ein ausgedehntes Kapitel gewidmet und darin die oben zitierten Arbeiten zusammengefasst und ergänzt. Wir halten uns im folgenden deshalb bei der Darstellung der für unsere Belange wichtigen Punkte an die Ausführungen von Imhof.

2.1 Schummer und Schatten in Imhofs 'Kartographische Geländedarstellung'

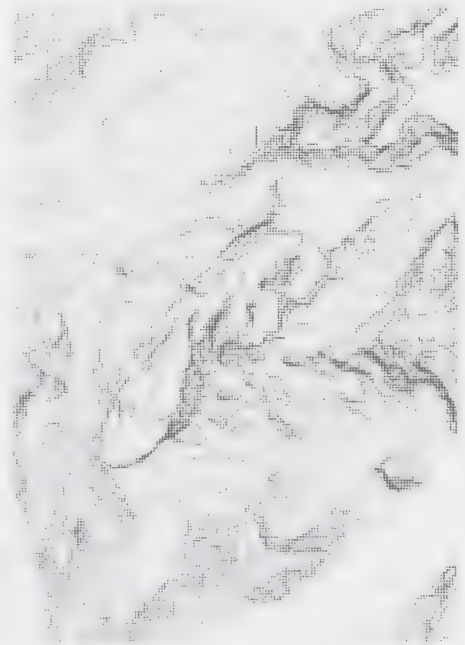
"Als Schummer oder Schummerung bezeichnet man eine in der Regel monochrome, nach irgend einem Prinzip helldunkel variierte, der Geländedarstellung in Karten dienende Flächentönung. - Die Schattierung ist eine besondere Form der Schummerung. Schattiereffekte entstehen durch geeignete Beleuchtung körperlicher Oberflächen. Im Gegensatz zu den Höhenkurven können Schummer und Schattentöne körperliche Formen niemals geometrisch exakt zum Ausdruck bringen, sie besitzen also lediglich visuellen Charakter" (Imhof 1965, S. 183); sie dienen also zur Veranschaulichung dieser Formen.

Imhof unterscheidet zwischen der Böschungsschummerung (je steiler, desto dunkler), der Schräglichtschummerung oder Schräglichtschattierung und der sog. kombinierten Schummerung, welche Prinzipien der beiden ersten Methoden in sich vereint.

Die Böschungsschummerung soll hier nur kurz erwähnt werden. Sie wurde vor allem im letzten Jahrhundert häufig angewendet und galt lange Zeit "gegenüber der 'künstlerischen' Schräglichtschattierung als die objektive wissenschaftliche Bildform" (Imhof 1965, S. 227). Solche senkrecht beleuchteten Darstellungen (oder damit verwandte Varianten) sind heute überholt. Als Beispiel sei hier die Figur 2 angefügt.

Diese Abbildung gibt nur einen ungenügenden Ueberblick über das tatsächliche Relief, hingegen sind in ihr die wahren Neigungsverhältnisse zum Ausdruck gebracht.

Die 'kombinierte Schummerung' ist so alt wie die Böschungsschummerung und kann als Nachfolgerin der Schattenschraffe angesehen werden: Ebenen bleiben weiss, alle geneigten Flächen sind getönt, Sonnenhänge leichter als Schattenhänge. Diese Darstellungsart ist recht anschaulich, aber es handelt sich um "eine höchst eigenartige, inkonsequente und nicht leicht in Regeln zu fassende Verbindung unmittelbar anschaulicher Bildelemente mit fiktiver abstrakter Darstellung" (Imhof 1965, S. 219).



Figur 2 Senkrecht beleuchtetes Relief (Dt. de Morcles, vgl. Tafel 9)

Für unsere Betrachtungen ist insbesondere die Schräglichtschattierung von Bedeutung, die im wesentlichen eine Nachbildung des Schattenspiels auf schräg beleuchtete Körper ist. "Da solche Schattenplastik dem Licht- und Schattenspiel auf Gegenständen unserer alltäglichen Umwelt entspricht, wirkt sie unmittelbar auf unsere Sinne" (Imhof 1965, S. 228), sie ist also nicht fiktiver Art. Diese Methode ist herstellungstechnisch anspruchsvoll, und so empfiehlt Imhof dem Zeichner von Schräglichtschattierungen, sich durch Beobachten in der Natur, anhand von Luftphotos, von geometrischen und topographischen Modellen im Erfassen und Darstellen dieses Licht- und Schattenspiels zu üben.

Im folgenden greifen wir aus Imhofs Ausführungen in 11 Punkten die Aussagen heraus, die für die Herstellung guter Schräglichtschattierungen von Bedeutung sind und also auch bei einer automatischen Bearbeitung nicht vernachlässigt werden dürfen:

1. Grundgerüst:

Die Schummerung stützt sich auf Höhenkurvenbilder möglichst kleiner Aequadistanz, die ergänzt werden durch ein Netz von Gewässerlinien, Felskanten und weiteren Gerippe- und Kantenlinien (Gerippelinienzeichnung).

2. Festlegen einer Hauptlichtrichtung durch einen vertikalen und einen azimutalen Winkel:

Ueber dieses Thema (bes. den azimutalen Winkel) ist in der Literatur schon jahrzehntelang geschrieben und gestritten worden (Nordwest- oder Südbeleuchtung?). Wir wollen hier nicht auf die verschiedensten Argumente pro und contra eingehen, sondern lediglich festhalten, dass

- die Hauptlichtrichtung (Azimut) die vorherrschenden, wichtigsten Bergkämme und Täler schräg (in spitzem Winkel) schneiden soll (nie parallel),
- eine Beleuchtung von Westen bis S-Westen weder der zur festen Gewohnheit gewordenen Linksbeleuchtung (Vermeidung der Reliefumkehr), noch "einer natürlichen, oft vorkommenden Nachmittags- oder Abendbesonnung" (Imhof 1965, S. 208) widerspricht.

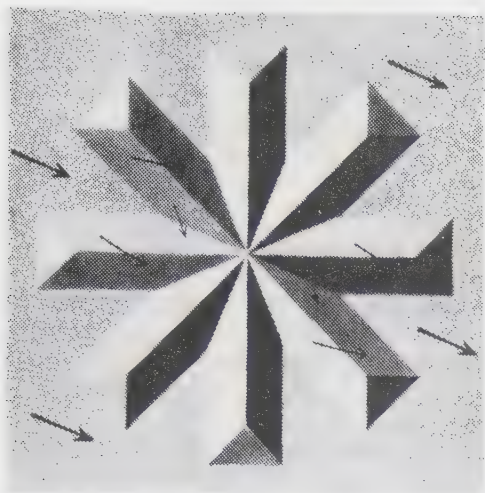
3. Pendeln der Lichtquelle um eine Hauptbeleuchtungsrichtung (azimutal):

Dieser Grundsatz stellt den wesentlichen Unterschied und den Hauptvorteil der Handschummerung gegenüber der photographischen Aufnahme eines Geländemodelles dar. Ein lokales leichtes Abdrehen der Lichtrichtung wird für Flächenumbiegungen empfohlen, die infolge ungünstigen Einfallwinkels des Lichtes nicht zum Ausdruck kommen. Zu diesem Thema seien einige Abschnitte Imhofs im Wortlaut wiedergegeben (Imhof 1965, S. 197 - 200):

"Ein und dieselbe Form tritt bei der einen Lichtrichtung deutlich in Erscheinung, bei abgedrehter Lichtrichtung ist sie kaum wahrnehmbar, sie ist 'stumm'. Als 'stumm' bezeichnet Imhof Bildstellen, an denen Geländekanten wegen ihrer ungünstigen Stellung zur Lichtquelle nicht zum Ausdruck kommen.

"Die meisten photographisch nach der Natur oder nach Modellen gewonnenen Schattierungsbilder enthalten solche überbetonten bzw. stummen Bildteile. Ihr oft vorzüglicher plastischer Schein-Eindruck vermag nur einen schlechten Beobachter über diese Schwächen hinwegzutäuschen". - Der erfahrene Zeichner "wählt die Hauptlichtrichtung möglichst günstig, er nimmt geschickte unauffällige, lokale Lichtdrehungen vor. Er lässt die Lichtstrahlen gleichsam an den Hängen entlang um die einzelnen Bergmassive herumstreichen. Er verstärkt oder schwächt da und dort den Schattenton, er legt unvermeidliche stumme Stellen möglichst auf wenig gebogene oder auf sehr kleine Flächenstücke, und er bringt schwach erscheinende Grossformen mit Hilfe der ihnen eingelagerten Nebenformen zu genügendem plastischem Ausdruck. Durch solche, dem Kartenbetrachter nicht erkennbare Korrekturen wird der Bereich günstiger Schattierungsmodulation erweitert und die stummen Stellen werden stark eingeeengt". - Ein zeichnerisch erstelltes Bild "vereinigt den Formenschatz von drei (aus drei verschiedenen Richtungen aufgenommenen) Modellphotographien und zeigt damit die Ueberlegenheit guter zeichnerischer Erstellung der Schräglichtschattierung gegenüber der Modellphotographie."

Imhof demonstriert die Idee der lokalen Lichthanpassung an einem geometrisch regelmässigen Modell, das mit freundlicher Bewilligung des Autors hier wiedergegeben sei:



Figur 3 Imhof 1965, Abb. 131,
Fig. 2, S. 205

4. Anpassung des Winkels zwischen Lichtrichtung und Horizontalebene an die Geländeform:
Für flachwelliges Gelände soll das Licht flach (unter 20°), für steile Schattenhänge über 45° einfallen. An steilen Lichthängen sollen hingegen die steilsten Wände am hellsten erscheinen, was wiederum durch einen kleineren Lichteinfallswinkel erreicht wird.
5. Schattierung nach rein geometrischen Gesichtspunkten,
d.h. der Auftreffwinkel des Lichtes auf ein Flächenelement bestimmt dessen Helligkeit. Es wird schräg einfallendes, diffuses Licht vorausgesetzt. Horizontale Flächen erscheinen deshalb nicht weiss, sondern sie sind in einem mittleren Grauton angelegt (Ebenenton). Schlagschatten, Aufhellungen durch reflektiertes Licht, Glanzerscheinungen und Helligkeit der Bodenbedeckung (Gletscher, Firnflächen) werden vernachlässigt.
6. Abrupte und kontinuierliche Uebergänge:
"Besonders sorgfältig bearbeite man alle Schattierungsübergänge. Die Form liegt an den Uebergängen. Scharfe Kanten verlangen schroffen Licht- und Schattenwechsel, gerundete Geländeteile aber Schattierungsübergänge." - "In einer nicht gebogenen Fläche wird grundsätzlich der Schummerton nicht variiert. Oft aber wird er gegen die eine oder andere Seite hin leicht verstärkt oder geschwächt, um so eine bessere Kontrastwirkung zu einer abgelenkten oder abgelenkten Anschlussfläche und damit eine lebhaftere Plastik der Formen zu erreichen." (Imhof 1965, S. 194). - Zusammenhängende Flächenstücke sind also in kontinuierlichen Uebergängen, schroffe Flächenumbiegungen mit Helligkeitssprüngen darzustellen.
7. Genauigkeit, Miniaturknitterungen:
Obwohl das Schattenbild nicht für exakte Messungen dienen kann, sollen in ihm doch das Licht- und Schattenspiel jeder kleinsten Biegung und Knickung den Höhenkurven entsprechen. "In vielen Fällen soll die schattenplastische Modellierung sogar über den Formgehalt der Höhenkurven hinausgehen; denn Licht- und Schattentöne formen die gesamte, kontinuierliche Reliefoberfläche, die Höhenkurvenschar aber entspricht einem Gitter mit mehr oder weniger groben Maschen ... Das Detail charakterisiert das Relief." (Imhof, 1965, S. 211). Unter Umständen geben Miniaturknitterungen der Geländeflächen einer Landschaft ihr besonderes Gepräge (Karstlandschaften etc.). Solche Kleinformen können und sollen in der Schräglichtschattierung festgehalten werden.

8. Luftperspektive:

"Trübungen der Atmosphäre durch Wasserteilchen und Staub bewirken in der Landschaft eine mit wachsender Entfernung heller werdende graublaue Verschleierung. Man nennt diese Erscheinung die Luftperspektive.... Je weiter entfernt ein Geländeteil, desto mehr werden dunkle Töne aufgehellt, sehr helle Töne aber leicht getrübt. Die Kontraste von Hell und Dunkel gleichen sich mit wachsender Entfernung mehr und mehr aus. In der Karte entsprechen die hochgelegenen Geländeteile der Nähe, die tief gelegenen der Ferne. Man verschärfe daher nach oben die Licht- und Schattengegensätze, nach unten aber verwische man sie etwas. Diese Hilfe ist oft sehr wirksam, sie erhöht die Plastik, unterstützt die generalisierende Formzusammenfassung und schützt vor der optischen Täuschung der Reliefumkehr... Luftperspektivische Veränderungen sind jedoch nur bei grossen Höhenunterschieden und auch hier nur sehr zurückhaltend anzubringen." (Imhof 1965, S. 196).

9. Grossformen des Reliefs sollen hervorgehoben werden, indem die Licht- und Schattenhänge luftperspektivisch leicht abgestuft werden und indem die Lichtseite der Grossform leicht aufgehellt, die Schattenseite leicht abgedunkelt wird, ohne dass man aber die Detailmodulation darin untergehen lässt.

10. Generalisierung:

"Formtreue, z. B. photographische Verkleinerung schattenplastischer Reliefformen führt nur zu einigermaßen brauchbaren Ergebnissen für nahe benachbarte Massstäbe. Bei starker Verkleinerung zerfällt das Relief, es wird schwer lesbar, unübersichtlich, unruhig und niedrig. Eine angemessene Generalisierung ist dann nicht zu umgehen." - "Zuerst werden Gräben, Nischen, Vorsprünge, lokale Schichtstufen, Erosionsterrassen und die Kleinformen alluvialer Bodenbedeckung geglättet oder ausgemerzt. Hierauf ergreift der Eliminierungsprozess stufenweise ganze Täler und Bergkämme. Ein reich gegliedertes und durchtaltet Gebirge wird scheinbar zu einem einzigen Berg. Enge aber orographisch bedeutsame Stromdruchbrüche werden verbreitert und Hauptwasserscheiden durch entsprechende Licht- und Schattentöne hervorgehoben. Diese Töne und ihre Kontraste sind dann vor allem von den Höhen und Höhenunterschieden der Gebirge abhängig, nicht mehr von der Hangneigung... Uebertreibungen des Höheneindrucks einzelner Gebirge sind in den kleinen Massstäben notwendig." - "Je kleiner der Massstab, desto mehr verschwinden alle flachwelligen und niedrigen Reliefformen... An die Stelle individueller Formen treten mehr und mehr uniforme Gebilde... Ein guter Kartograph sucht nun aber, trotz solcher Uniformierung, den örtlichen Reliefcharakter so gut wie möglich und, massstäblich gesehen, so lange wie möglich zu erhalten." (Imhof 1965, S. 212 - 214).

11. Ungünstige Fälle, spezielle Schwierigkeiten:

Imhof zitiert vier Fälle, die an den Handbearbeiter besondere Anforderungen stellen: dem Licht zugeneigte, steile Berghänge, Flachböschungen auf der Schattenseite, spitze Kegel in flachgewelltem Umland und flache lokale Gegensteigungen in einem Schattenhang. Schwierigkeiten häufen sich, "wenn die Detailbetrachtung der lokalen Form und die Gesamtbetrachtung des generalisierten Bildes zu ungleichen Lösungen drängen... Solche Fragen lassen sich nicht leicht durch Vorschriften regeln. Hier muss der geübte Blick des begabten und erfahrenen Kartenkünstlers den Weg weisen. Ein und derselbe Grauton in ein und derselben Karte kann hier als Licht und dort als Schatten erscheinen." (Imhof 1965, S. 210).

Wir sind absichtlich etwas eingehender auf die von Imhof festgelegten Grundsätze eingegangen, und wir werden später auf die einzelnen Punkte zurückkommen.

3. NEUERE METHODEN ZUR VERANSCHAULICHUNG DER DRITTEN DIMENSION

3.1 Ueberblick

Immer wieder hat man zum unlösbaren Problem, dreidimensionale Gebilde aus zweidimensionalem Papier wiederzugeben, neue Ansätze vorgeschlagen oder - besonders im Zuge der Automatisierung - alte wieder hervorgeholt. Wir möchten hier eine Reihe uns interessant erscheinender Beiträge zu diesem Thema kurz streifen.

Vorerst wären die verschiedenen perspektivischen Karten und kartenverwandten Darstellungen zu erwähnen, die sich heute besonderer Beliebtheit erfreuen (Blockbilder, Photokarten etc.). Für das Zeichnen von Blockbildern bestehen verschiedenste Computerprogramme, und diese Darstellungen eignen sich insbesondere dazu, nicht-topographische dreidimensionale Phänomene sichtbar zu machen (vgl. Tobler 1970/b, Tomlinson 1972, S. 1037 - 1063).

Kitirô Tanaka hat mit seiner 'Orthographischen Reliefmethode' (Tanaka 1932) und der 'Relief-Contour-Methode' (Tanaka 1950) zwei Verfahren beschrieben, die mit Linienelementen planimetrisch korrekte Reliefdarstellungen liefern. Diese Methoden sind von verschiedenen Autoren wieder aufgegriffen worden, und Peucker und andere (Peucker 1972/b, 1972/c) haben sie für die Computerbearbeitung programmiert. Als spezielle Anwendung der Relief-Contour-Methode sei hier McGary's Schattierung submariner Gebiete (McGary 1969) erwähnt.

Neben diesen verschiedenen Methoden kommt aber doch der Reliefschummerung zentrale Bedeutung zu, und so hat man immer wieder versucht, die Schräglichtschattierung zu rationalisieren.

Grosse Anstrengungen sind auf dem Gebiet der photomechanischen Schummerung unternommen worden. Bei diesem Verfahren wird vorerst ein Relief modelliert und dies dann photographisch aufgenommen. Auf die verschiedenen angewendeten Techniken, die Vor- und Nachteile der Reliefphotographie möchte ich hier nicht näher eintreten (vgl. Pillewitzer 1959, Stoessel 1959, Richarme 1963 etc.).

In diesem Zusammenhang ist auf die Möglichkeiten hinzuweisen, die in Zukunft Luftbilder und Satellitenaufnahmen bieten werden. Es ist aber ungewiss, ob sich mit Retouches daraus brauchbare Reliefdarstellungen gewinnen lassen.

Neben diesen optischen Verfahren hat man schon früh versucht, auf rechnerischem Wege zu Reliefschattierungen zu gelangen. Wiechel (1878) will für 'Seitenlicht' eine "wissenschaftlich gegründete und zugleich mit Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis durchgebildete Theorie der Bergzeichnung...entwickeln" (Wiechel 1878, S. 340). Er nimmt paralleles, unter einem Winkel von 45° aus NW einfallendes Licht an und berechnet für beliebige Oberflächenpunkte den Winkel a zwischen dem Lichtvektor und der Tangentialebene am Oberflächenpunkt. Die Helligkeit dieser Stellen wird dann dem Sinus des gemessenen Winkels gleichgesetzt ($a=90^{\circ} \rightarrow \sin a=1$, betr. Stelle ist also weiss; horizontale Flächenelemente: $a=45^{\circ}$, $\sin a=0.707$ etc.) Er hat Punkte gleicher Helligkeit mit sog. 'Isophoten' verbunden und nach diesen seine geometrischen und topographischen Körper geschummert. In der Praxis ist aber dieser Weg recht mühsam zu begehen, auch wenn man seine Hilfsfiguren und vereinfachten Berechnungsformeln benutzt. Nach seinen eigenen Worten geht es Wiechel aber im wesentlichen darum, "den Zeichner mit den hier allerdings nicht gerade einfachen und schnell auffassbaren Gesetzen der Helligkeitsverteilung (der Seitenlichtmanier) vertraut zu machen." (Wiechel 1878, S. 356). Zum Schluss gibt er denn auch "Grundlinien zu einer Bergzeichnerschule in Seiten-

lichtmanier" (S. 357 - 364). Im Gegensatz zu Imhof, der diesen Beitrag als ganzen unter "Unhaltbare Lehren" (Imhof 1965, S. 202 - 203) einordnet, sind wir der Ansicht, dass Wiechel zwar nicht Blüten der Schräglichtschattierung hervorgebracht, zu deren theoretischer Erfassung aber doch Grundlegendes beigetragen hat.

Im Zeitalter der elektronischen Datenverarbeitung hat dann Yoeli in seiner "Analytischen Schattierung" (Yoeli 1965/a) den Beitrag wieder aufgegriffen.

Ausser den Arbeiten von Yoeli - auf die wir im nächsten Abschnitt näher eintreten wollen - ist auf dem Gebiet der 'computerisierten' Reliefschattierung nicht sehr viel gearbeitet worden. Monmonnier hat 1965 als erster (?) daran gedacht, den Schnelldrucker als Darstellungsmedium für Schummerungen zu verwenden. Marsik (1971) greift auf die Arbeiten von Wiechel und Yoeli zurück und leitet eine vereinfachte Formel für die Helligkeitsberechnung ab. Wie Yoeli stellt er seine Resultate mit Facetten verschiedener Schwärzung dar und weicht anschliessend die scharfen Facettengrenzen durch photographische Prozesse auf. Dann beschreibt er eine technische Apparatur, die als Nebeprodukt der Orthophotoherstellung eine Schummerung liefert; leider unterlässt er es, ein Anwendungsbeispiel beizulegen. - Denegre (1972) stellt Verwendungsmöglichkeiten numerischer Reliefs für verschiedene Karten mittleren Massstabs zusammen, ohne aber auf unserem Gebiete grundsätzlich Neues zu bringen. Unter anderem interessiert er sich für genaue Berechnungen von Besonnungszeiten etc.

Im Sammelband "Geographical data handling" (Tomlinson 1972) stellt der U.S. Geological Survey eine automatisch geschummerte Entwässerungskarte (S. 909, bzw. 913) vor; Bouknight (1970) beschreibt eine Prozedur, mit deren Hilfe getönte Flächen oder geometrische Körper auf einen Halbton-Bildschirm projiziert und dort bewegt werden können. Unter Umständen liegen hier Möglichkeiten für zukünftige Entwicklungen in der automatisierten Reliefschattierung.

3.2 Analytische Schattierung nach Yoeli

In den Jahren 1965 - 1967 hat P. Yoeli in einer Serie von vier Arbeiten die wesentlichen Grundzüge der 'Analytischen Schattierung' dargestellt, und wir wollen hier die wichtigsten Aussagen dieser Beiträge zusammenfassen.

Im ersten Artikel (Analytische Schattierung, Yoeli 1965/a) greift Yoeli auf die Arbeit von Wiechel zurück (Wiechel 1878). Statt aber Punkte gleicher Helligkeit durch sog. 'Isophoten' miteinander zu verbinden, schlägt Yoeli vor, die Oberfläche der dreidimensionalen Gebilde in kleine Flächenelemente zu untergliedern, "mit darauffolgender Berechnung der Helligkeit jedes Flächenelementes und deren Projektion auf die Horizontalebene. Je kleiner diese Elemente gewählt werden, desto kontinuierlicher und natürlicher wird das resultierende Schattenbild sein" (Yoeli 1965/a, S. 143). Die Berechnung all dieser Helligkeitswerte ist sehr aufwendig, doch kann nun Yoeli für diese Arbeit - im Gegensatz zu Wiechel - auf die Unterstützung der Elektronik zurückgreifen.

Mit Hilfe der Vektorenrechnung stellt Yoeli für die Berechnung der Helligkeiten folgende Formeln auf:

"Ein beliebiges Flächenelement sei durch die beiden Vektoren

$\vec{a} (a_x, a_y, a_z)$ und $\vec{b} (b_x, b_y, b_z)$ aufgespannt (Fig. 4)



Figur 4 (Yoeli)

Das vektorielle Produkt $\vec{a} \times \vec{b}$ ist dann bekanntlich ein zu diesem Flächenelement senkrechter Vektor $\vec{n}$:

$$\vec{a} \times \vec{b} = \vec{n}$$

Die Komponenten von $\vec{n}$ sind

$$n_x = a_y b_z - a_z b_y$$

$$n_y = a_z b_x - a_x b_z$$

$$n_z = a_x b_y - a_y b_x$$

und seine absolute Grösse ist

$$|\vec{n}| = \sqrt{n_x^2 + n_y^2 + n_z^2}$$

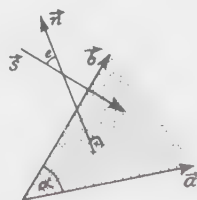
Beleuchtet man nun dieses Flächenelement mit parallelen Lichtstrahlen, die durch den Vektor $\vec{s}$ (s_x, s_y, s_z) gegeben seien, so kann man das Skalarprodukt

$$\vec{s} \cdot \vec{n} = |\vec{s}| \cdot |\vec{n}| \cdot \cos e = s_x n_x + s_y n_y + s_z n_z$$

bilden. Dabei ist

$$|\vec{s}| = \sqrt{s_x^2 + s_y^2 + s_z^2}$$

und e der Winkel zwischen $\vec{n}$ und $\vec{s}$ (Fig. 5).



Figur 5 (Yoeli)

Dieses aber ist der Winkel zwischen dem Lichtstrahl und der Senkrechten auf der Böschung, dessen Cosinus proportional der Helligkeit des Flächenelements ist! Man sieht also, dass für jedes Flächenelement das gemischte Produkt der drei Vektoren $\vec{a}$, $\vec{b}$ und $\vec{s}$ ein direkter Ausdruck für die Helligkeit des betreffenden Flächenelementes ist.

Zur bequemerem Berechnung von $\cos e$ führen wir ein, dass

$$|\vec{s}| = 1$$

dann wird

$$\cos e = \frac{\vec{s} \cdot \vec{n}}{|\vec{s}| \cdot |\vec{n}|} = \frac{s_x (a_y b_z - a_z b_y) + s_y (a_z b_x - a_x b_z) + s_z (a_x b_y - a_y b_x)}{\sqrt{(a_y b_z - a_z b_y)^2 + (a_z b_x - a_x b_z)^2 + (a_x b_y - a_y b_x)^2}} \quad (1)$$

Wählt man die Flächenelemente so, dass deren orthogonale Projektion in die Kartenebene Quadrate ergibt und die Orthogonalprojektion der Vektoren $\vec{a}$ und $\vec{b}$ mit den x- und y-Achsen zusammenfallen, so wird für sämtlichen Flächenelemente

$$a_y = 0$$

$$b_x = 0$$

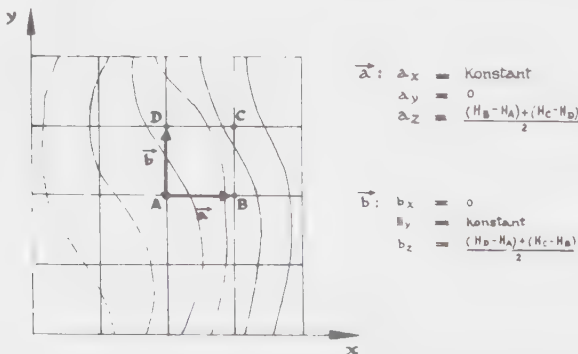
und der Ausdruck für $\cos e$ vereinfacht sich zu

$$\cos e = \frac{-s_x a_z b_y - s_y a_x b_z + s_z a_x b_y}{\sqrt{(a_z b_y)^2 + (a_x b_z)^2 + (a_x b_y)^2}} \quad (2) \quad \text{"} \quad (\text{Yoeli 1965/a, S. 143 - 144})$$

Zur Berechnung der Helligkeit eines Flächenelementes ($\sim \cos e$) sind also vorerst die Komponenten der drei genannten Vektoren zu bestimmen.

Yoeli demonstriert seine Analytische Schattierung anhand eines kleinen topographischen Beispiels. Das darzustellende Gebiet unterteilt er mosaikartig in quadratische Flächen. Aus den Höhennoten der vier Eckpunkte eines Flächenelementes lassen sich die oben genannten Vektoren $\vec{a}$ und $\vec{b}$ bestimmen:

"Sind alle Flächenelemente gleich gross und rechteckig und sind ihre Seiten parallel den x- und y-Achsen des angenommenen Koordinatensystems, so sind die x- und y-Komponenten der beiden Vektoren jeweils konstant oder null (Fig. 6). Die z-Komponenten ergeben sich aus den Höhendifferenzen der Ecken der Flächenelemente.



Figur 6 (Yoeli)

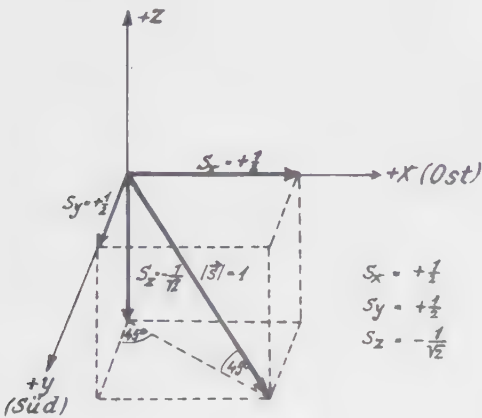
Sind A, B, C und D die vier Ecken der Fläche und H_A , H_B , H_C und H_D deren Höhen, so werden die z-Komponenten wie folgt berechnet:

$$a_z = \frac{(H_B - H_A) + (H_C - H_D)}{2} \tag{3}$$

$$b_z = \frac{(H_D - H_A) + (H_C - H_B)}{2} \tag{4}$$

" (Yoeli 1966/b, S.103).

Zur Erläuterung der Berechnung der Komponenten des Lichtvektors ($\vec{s}$) sei folgende Abbildung Yoelis wiedergegeben (NW-Beleuchtung, Lichtneigung 45°):



Figur 7 (Yoeli 1965/a, S.145)

Nach obiger Formel (2) hat nun Yoeli für alle Flächenelemente einen Helligkeitswert bestimmt und diese dann durch das Aufkleben von quadratischen Facetten verschiedener Schwärzung dargestellt. Die photographische Verkleinerung dieser Mosaikdarstellung lässt dann einen Reliefeffekt erkennen.

Dieselbe Prozedur wird mit Daten, die mit Hilfe des Stereogrammen aus Luftbildern gewonnen worden sind, durchgeführt. "Das Resultat ist praktisch ein 'geläutertes' Luftbild, auf dem die Verteilung der Grautöne nur eine Funktion des Reliefs ist ... Ausserdem kann die Richtung der Sonnenbestrahlung beliebig geändert werden, da jetzt an Stelle der Sonne unser beliebig annehmbarer Lichtvektor tritt." (Yoeli 1965/a, S. 147 - 148).

In 'Analytische Schattierung und Dichte' (Yoeli 1966/a) benutzt der Autor Begriffe aus der Densitometrie, um damit den funktionellen Zusammenhang zwischen $\cos e$ und dem entsprechenden Grauton zu bestimmen:

$$\begin{aligned} \text{Opazität } 0 &= \frac{\text{einfallendes Licht } I_o}{\text{reflektiertes Licht } I} \\ \text{Dichte } D &= \log 0 = \log \frac{I_o}{I} = \log \frac{1}{\cos e} \end{aligned}$$

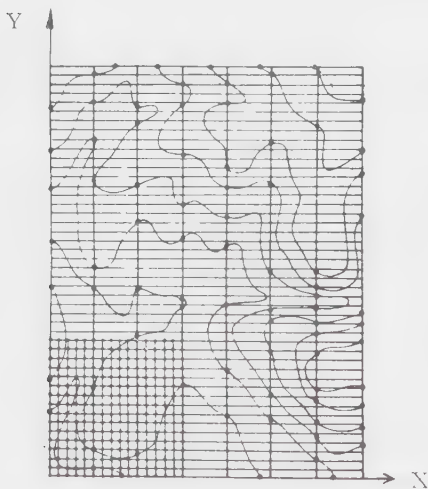
(Genaue Ableitung s. Kapitel 4. 2)

"Durch die Einführung des Dichtebegriffes haben wir ein wichtiges Mittel in der Hand, um die verschiedenen Schattierungstechniken ... miteinander zu vergleichen. Insbesondere ist die Einführung der Dichte für die praktische Durchführung der analytischen Schattierung unerlässlich" (Yoeli 1966/a, S. 18). Yoeli erstellt gedruckte Raster verschiedener Dichte (20 Stufen), die er zum Aufkleben für seine Facettendarstellungen verwendet. Anhand einer Kuppe stellt er Vergleiche verschieden steiler Beleuchtungsrichtungen (Inklination) dar. Insbesondere zeigt er den Unterschied zwischen einer echten Senkrechtbeleuchtung und einem Beispiel nach der Theorie von J. G. Lehmann (1799).

In 'Mechanisierung der analytischen Schattierung' (Yoeli 1966/b) wird auf folgende Probleme näher eingegangen:

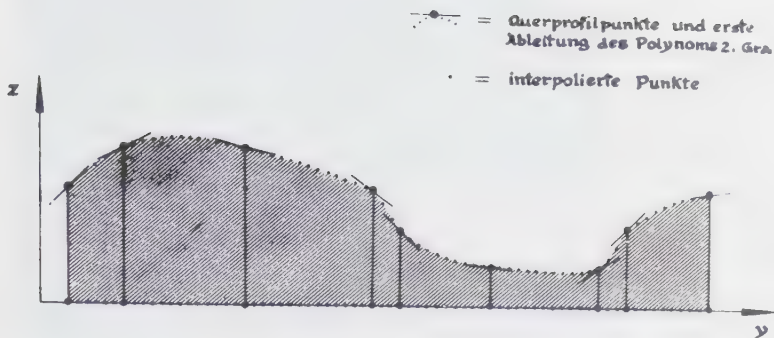
- Die Schaffung der notwendigen Werte für die Intensitätsberechnung
- Die Lichtintensitätsberechnung
- Die graphische Auswertung

wobei für uns der erste und dritte Abschnitt neue Aspekte aufzeigen. Zur Aufnahme der Daten wird empfohlen, die Karte mit einer Schar paralleler Linien zu überziehen und - manuell oder mit der Maschine - die Schnittpunkte mit den Höhenkurven zu registrieren. Ausgehend von den x-, y- und z-Werten dieser Schnittpunkte lassen sich durch Interpolation (in Richtung der Parallelen und in einem zweiten Schritt senkrecht zu diesen) Höhenwerte für weitere, gitterartig angeordnete Rasterpunkte berechnen. (Fig. 8).



Figur 8
(Yoeli 1966/b, S.104)

"Die Interpolation geschieht, indem je drei aufeinanderfolgende Querprofilpunkte unter Benützung der LAGRANGE'schen Interpolationsformel durch ein Polynom zweiten Grades verbunden werden. Danach wird jeweils im mittleren der drei Punkte die erste Ableitung berechnet, und schliesslich wird dann zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Punkten, nach HERMITE, ein Polynom dritten Grades interpoliert, welches durch diese beiden Punkte geht und dessen erste Ableitungen in diesen Punkten denen des Polynom zweiten Grades gleich sind. Dadurch entsteht eine stetige, sich der Erdoberfläche eng anschmiegende Kurve, von der die Höhen von Punkten in beliebig enger Aufeinanderfolge entnommen werden können (Fig. 9)."



Figur 9
(Yoeli 1966/b,
S. 105)

Für die graphische Auswertung verwendet Yoeli hier zum ersten Mal den Schnelldrucker. Durch ein- oder mehrmaliges Anschlagen verschiedener Buchstaben, Zahlen oder Spezialzeichen ist es möglich, den einzelnen Flächenelementen gemäss dem berechneten Dichtewert die entsprechenden Helligkeiten zuzuordnen. Die Qualität dieser Abbildungen ist zwar noch nicht genügend, doch ist dieses Vorgehen bedeutend weniger arbeitsintensiv als das Aufkleben verschieden heller Facetten.

In seinem vierten Beitrag ('Die Richtung des Lichtes bei analytischer Schattierung') befasst sich Yoeli mit den Nachteilen, die der Analytischen Schattierung bei Annahme einer konstanten Beleuchtungsrichtung erwachsen. Insbesondere weist er darauf hin, dass "Berg-rücken oder Täler, die in der Richtung des Lichtes verlaufen, verflacht erscheinen oder überhaupt nicht erkennbar sind, während sekundäre Erhebungen oder Vertiefungen, die zufällig senkrecht zur Lichtrichtung verlaufen, übermässig betont sind" (Yoeli 1967/a, S. 37).

Zu diesem Problem schlägt Yoeli folgende 2 Lösungswege vor:

1. Es soll ein sog. "Verteilungsschlüssel" erstellt werden, d.h. ein Schema, das besagt, welche Teilgebiete aus welcher Richtung beleuchtet werden sollen (Fig. 10).

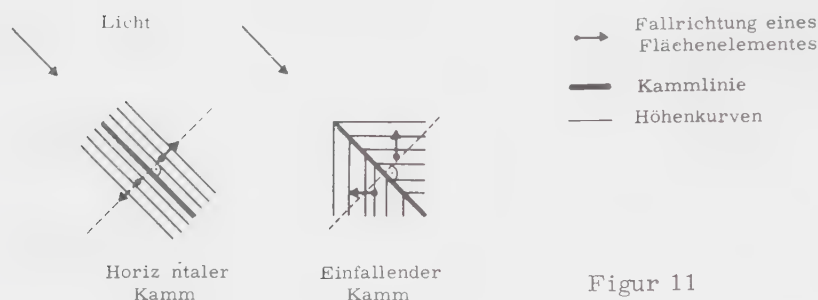


Figur 10
(Yoeli 1967/a, S. 38)

Dieses Vorgehen weist jedoch folgende Nachteile auf: zum ersten ist es - davon konnte ich mich anhand von praktischen Versuchen überzeugen - sehr schwer, wenn nicht unmöglich, sinnvolle Abgrenzungen zu finden. Zum andern ändert die Lichtrichtung an diesen Grenzen abrupt, was nur sinnvoll ist, wenn die Grenzlinie mit einer Geländekante zusammenfällt. Andernfalls werden auf diese Weise Hell-Dunkel-Kontraste geschaffen, welche nicht durch Knickungen im Gelände bedingt sind.

2. Yoeli schlägt vor, eine alternative Lichtrichtung zur Beleuchtung ungünstig gerichteter Flächenelemente zu wählen. Er vergleicht dabei die Orthogonalprojektion des Lichtvektors mit der Normalen zum Flächenelement. Bilden diese einen Winkel von $90^\circ \mp \varepsilon$ (ε = Toleranzwinkel), so wird dieses Flächenelement aus einer alternativen Richtung beleuchtet. Diese Tests und Lichtänderungen können ohne grossen Aufwand durch den Computer durchgeführt werden. Der Erfolg dieser Manipulationen ist aber sehr klein: Täler, die bei konstanter Beleuchtung 'stumm' waren, werden zwar sichtbar, dafür verschwinden aber andere Formen.

Der Grund für diesen Misserfolg liegt meiner Ansicht nach darin, dass Yoeli zu Beginn des Artikels zwar richtig erkennt, dass Bergrücken oder Täler (also ganze Geländeformen) bei ungünstiger Beleuchtung verschwinden, dass er aber dann das Licht nicht für ganze Formen (global), sondern nur für einzelne Flächenelemente (lokal, analytisch) abdrehet. Dies wäre allenfalls noch statthaft, wenn ein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Streichen der Form und der azimuthalen Richtung der Flächennormalen ihrer Elemente bestünde. In speziellen Fällen kann dies zutreffen, so z. B. bei einem horizontal verlaufenden Kamm, dessen Flanken in einem rechten Winkel zum Streichen des Kammes einfallen (Fig. 11).

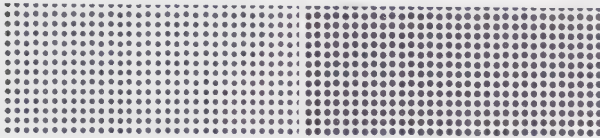
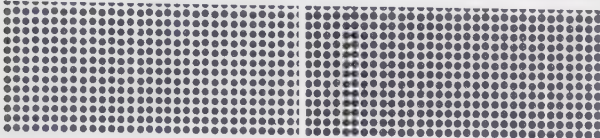
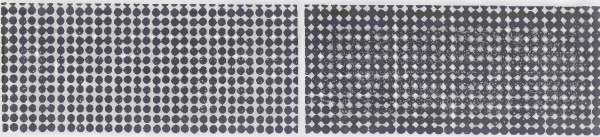
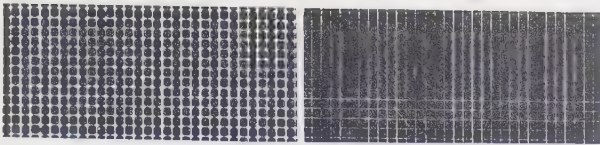


Ist dieser Kamm aber geneigt, so weicht der genannte Winkel von 90° ab und kann unter Umständen ausserhalb des Toleranzsektors liegen. Auf diese Weise können Kämme verschwinden, deren Streichen mehr oder weniger parallel zum Lichtazimut verläuft. Gravierendere Nachteile des vorgestellten Modells liegen aber darin, dass unter Umständen für einzelne Flächenelemente das Licht abgedreht wird, während ihre Umgebung aus der Hauptlichtrichtung beleuchtet wird. Dadurch geht der ganzheitliche Charakter des Bildes verloren. Als dritten Mangel betrachten wir das abrupte Abdrehen beim Ueberschreiten des Toleranzsektors, das künstliche Helligkeitsdiskontinuitäten verursacht.

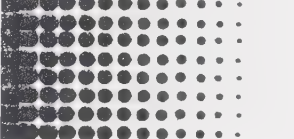
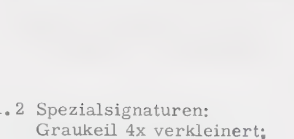
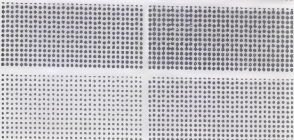
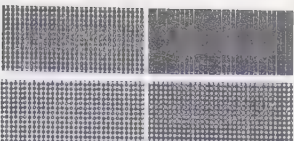
Yoeli schliesst seine Arbeit ab mit einigen Betrachtungen über die optimale Neigung des Lichtvektors, und er weist auf die Möglichkeit der Ueberhöhung zu schattierender Reliefs hin.

In einer späteren Veröffentlichung (Yoeli 1970) wendet sich der Autor technischen Fragen zu: Zum einen stellt er eine vollautomatische Digitalisierungsmethode für Höheninformation vor, zum andern werden auf Kathodenstrahlröhren erzeugte Schattenbilder gezeigt. Später hat Yoeli - ohne an seinem Modell grundsätzlich etwas zu ändern - seine Methode für die Darstellung auf Raster-Plottern (Raster-Recorder) umprogrammiert (Peucker 1972/d, S. 9 und 49).

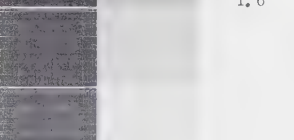
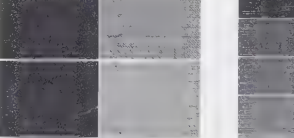
Die Figuren 4 - 10 sind mit freundlicher Bewilligung von P. Yoeli reproduziert worden.



1.1 Spezialsignaturen: Graukeil 2x verkleinert, 8er-Raster



1.2 Spezialsignaturen: Graukeil 4x verkleinert; 16er-Raster

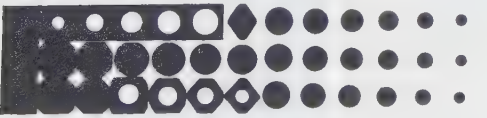


1.3 Spezialsignaturen, Originalgrösse 4er-Raster

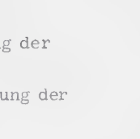
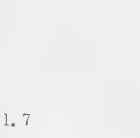
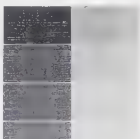
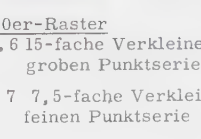
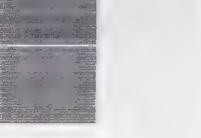
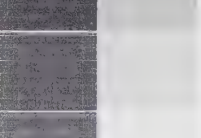
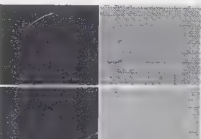
Spezialsignaturen für den Printer



1.4 Gravurvorlage, 2x vergrößert; oben Variante mit 1, unten mit 4 Zeichen pro Type (feine Punktserie)



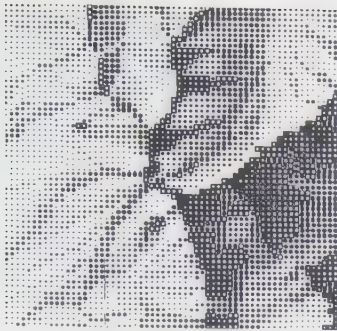
1.5 Versuchsvarianten, mittleres Beispiel ist gewählt worden.



1.6

1.7

60er-Raster
1.6 15-fache Verkleinerung der groben Punktserie
1.7 7,5-fache Verkleinerung der feinen Punktserie



2.1 Bearbeitet von Ch. Herrmann
Daten dargestellt mit
Versuchssignaturen
(11-stufiger Graukeil)



2.2 Gravur nach Helligkeits-
werten (K. Mayek) auf
Coragraph (Fa. Contraves AG,
Zürich)

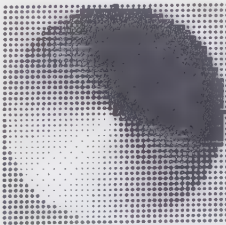
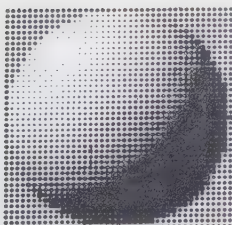
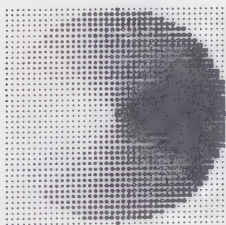
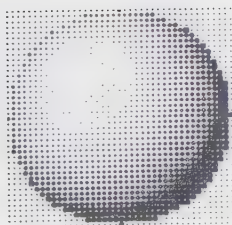


2.3 Bearbeitet von K. Mayek,
ausgedruckt mit groben
Signaturen, 30er-Raster



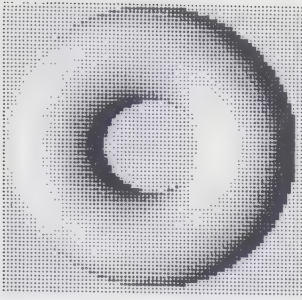
2.4 Bearbeitet von K. Mayek,
ausgedruckt mit feinen
Signaturen, 60er-Raster

Von Hand interpretierte Vorversuche (Dt. de Morcles) ca 1:150'000

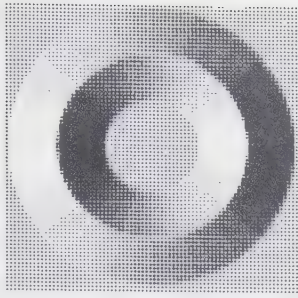


Kugel und Kegel

2.5 Geom. Körper zum
Austesten von Signaturen
und Programmen.
Kugeln: NW-Beleuchtung
Lichtneigung 60° (oben)
und 30° (unten)
Kegel oben: W-Beleuch-
tung 60° , Kegelneigung
 60° .
Kegel unten: SW-Beleuch-
tung 45° , Kegelneigung
 45° .



3.1

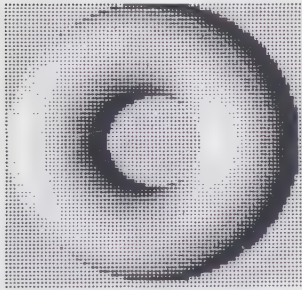


3.2

3.1 Torus ('Kugelring')
konstante Beleuchtungs-
richtung ($W, 45^\circ$)

3.2 'Kegelring'
konstante Beleuchtungs-
richtung ($W, 45^\circ$)

Variation der Lichtneigung
Variation der Lichtrichtung
Helligkeitskorrekturen
nach der Höhenlage

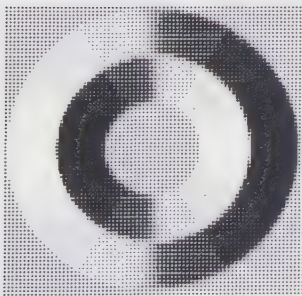


3.3

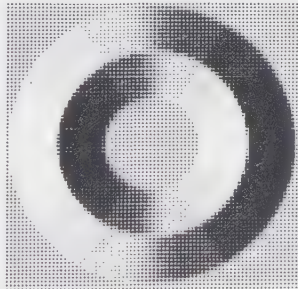
3.3 wie 3.1, jedoch Verkleinerung der Lichtneigung an über-
steilen Stellen (Unterschiede ganz links aussen sichtbar).

3.4-3.6 Varianten mit seitlicher Lichtdrehung: Von der Haupt-
lichtrichtung (W) wird maximal um 30° abgedreht. Maxi-
male Abdrehung bei Kämmen, die um 5° (3.4), 10° (3.5)
bzw. 20° (3.6) von der Lichtrichtung abweichen.

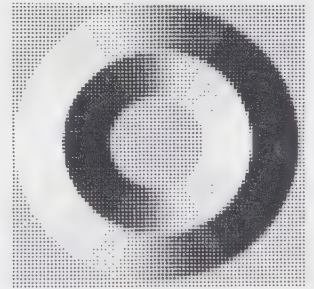
3.7-3.9 Helligkeitskorrekturen nach der Höhenlage: Kontraster-
höhung an hochliegenden, Kontrastreduktion an tiefliegenden
Stellen, extrem in Abb. 3.9; in 3.7 und 3.8 zusätzlich zur
Kontrastvariation noch generelle Verdunklung nach der
Tiefe hin. Konstante Beleuchtungsrichtung ($W, 45^\circ$)



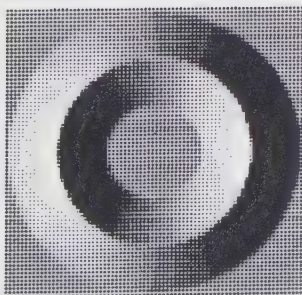
3.4



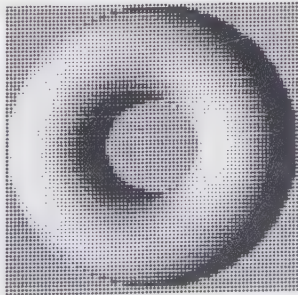
3.5



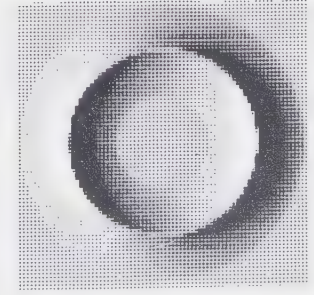
3.6



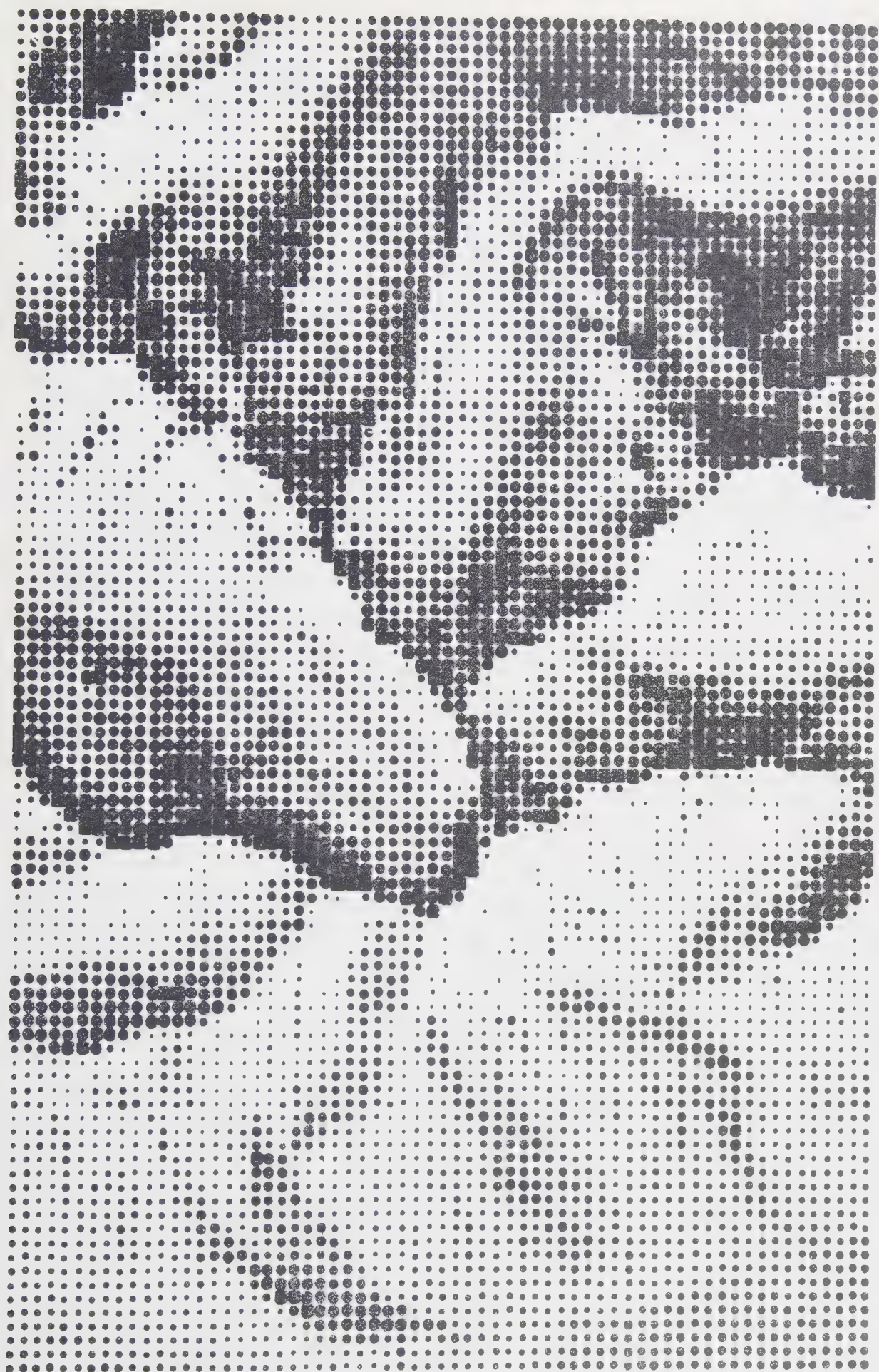
3.7



3.8



3.9



4.1 Printeroriginal (1 : 1) der Schräglightschattierung Dt. de Morcles (Ausschnitt), 1 Rasterpunkt = 1 ha.
Massstab ca. 1 : 40'000.

4. TECHNISCHE GRUNDLAGEN

4.1 Rechananlage und Nebeneinrichtungen - Programmiersprache

Um in diversen Versuchen verschiedene Modelle austesten zu können, stellen wir an Rechananlage und Nebeneinrichtungen folgende Anforderungen:

- Für die Berechnungen soll die Anlage bezüglich Speicherkapazität und Vielseitigkeit ein breites Spektrum von praktischen Versuchen ermöglichen.
- Es soll ohne übertriebenen Aufwand eine grosse Zahl verschiedener Versuche durchgeführt werden können, deren Resultate alle in graphischer Form vorliegen müssen.
- Die graphische Qualität der Versuchsbeispiele soll ausreichend sein, um eine differenzierte Beurteilung der einzelnen Modelle vornehmen zu können.

Diese drei Forderungen und die bestehenden Anlagen am Rechenzentrum der Universität Zürich liessen uns folgende Lösung wählen:

- Durchführung sämtlicher Berechnungen und Datenmanipulationen auf der leistungsfähigen Grossanlage IBM 370/155; grosse Rechengeschwindigkeit, ausreichende interne und externe Speichermöglichkeiten (maximal verwendeter interner Speicherplatz in unseren Programmen: 256 000 Bytes, 1 Byte à 8 Bits).
- Darstellung der berechneten Kartenbeispiele auf einer Anlage IBM 1620 (2. Computer-generation) mit Printer IBM 1443; kleine Rechengeschwindigkeit, geringe Speicherkapazität, Einbau von Spezialeinrichtungen.

Als Bindeglied zwischen beiden Anlagen sind wegen der Inkompatibilität der Systeme nur Lochkarten in Frage gekommen. Auf der grossen Maschine sind Helligkeitswerte für alle Abbildungen berechnet und direkt in Form von Signaturcodes für jede Druckeinheit auf Lochkarten gestanzt worden. Diese Lochkartencodes müssen dann auf der langsamen IBM 1620 nur noch mit dem Schnelldrucker dargestellt werden.

Wie bereits früher beschrieben (Brassel 1971/a) steht die Anlage IBM 1620 dem Benutzer zur eigenen Bedienung zur Verfügung. So war es möglich, an dieser Maschine selbst zu manipulieren und kleine Hardware-Abänderungen (Printer) vorzunehmen.

Der Printer druckt normalerweise Zeichen in rechteckiger Hochkantform mit einem Verhältnis von Zeilenhöhe zu Zeichenbreite von 5:3 bzw. 5:4. Durch Auswechseln eines Zahnrades und eines Zahnriemens war es möglich, dieses Verhältnis auf ca. 1:1 zu verändern (genau: 35:36). Diese annähernd quadratischen Druckzellen weisen nun eine Ausdehnung von rund 0.1 x 0.1 inch auf und sind geeignet, auf Quadratflächen bezogene Informationen wiederzugeben. Um eine geeignete Hell-Dunkel-Wiedergabe zu ermöglichen, wurde eine Zeichenserie entworfen und graviert, die anstelle der Standardsignaturen des Printers eingesetzt werden kann. Wir werden im nächsten Abschnitt genauer auf diese Signaturen eingehen. Um über ganze Abbildungen eine konstante Druckqualität zu gewährleisten, werden schwarze Kohlenpapiere auf das Druckpapier aufgelegt.

Für Nebenarbeiten sind ein Trommelplotter (angeschlossen an der CDC 6500/6400 des Rechenzentrums der ETH Zürich), ein Digitalisiergerät (Modell Codimat, Firma ASI Zürich) und die automatische Zeichenanlage Coragraph der Firma Contraves AG Zürich verwendet worden.

Programmiersprache: Mit Ausnahme von vereinzelt Fortran-Routinen sind sämtliche Programme in PL/1 (Programming Language 1) codiert worden. PL/1 ist eine anwendungsorientierte Sprache, die sowohl für die Bearbeitung von technisch-wissenschaftlichen wie auch von

kommerziellen Problemen geeignet ist. PL/1 ist noch relativ jung und vereinigt Sprachelemente verschiedener anderer problemorientierter Computersprachen in sich.

Für unsere Aufgabe weist diese Programmiersprache - es ist die 'Optimizer'-Version verwendet worden - u. a. folgende entscheidende Vorteile auf:

- Streng logischer Aufbau: PL/1 stellt die syntaktischen Mittel zur Verfügung, Programme streng logisch und modular (nach dem 'Baukastenprinzip') aufzubauen. Dies erhöht die Uebersichtlichkeit, was für das Erfassen von komplexen wissenschaftlichen Problemen von ausserordentlicher Bedeutung ist (Programmiersprache als wissenschaftliches Arbeitsmittel).
- Vielseitigkeit: Es bestehen mannigfaltige Möglichkeiten zur Datenmanipulation, verschiedene Builtin-Funktionen etc. In PL/1-Hauptprogramme können Routinen, die in anderen Programmiersprachen geschrieben sind, eingebaut werden.
- Gut ausgebaute Testhilfen: PL/1 liefert u. a. ausführliche Fehlerdiagnosen für die Programmübersetzung und vor allem auch die Programmausführung. Dies ist ausserordentlich wichtig, weil dadurch der Arbeitsaufwand für die Programmierung drastisch herabgesetzt werden kann.

PL/1 ist allerdings an Rechenanlagen mit relativ grosser Speicherkapazität gebunden. Für unsere Programme stellt dies aber keinen Nachteil dar, da man bei der Bearbeitung grossdimensionierter Rasterfelder ohnehin auf grosse Kernspeicher angewiesen ist.

4.2 Graustufenberechnung und Darstellung mit Printersignaturen

Wie bereits erwähnt, wollen wir die Resultate der berechneten Schummerungen auf dem Printer zur Darstellung bringen. Dieses Umsetzen von numerischer in optische Information bedarf vorerst einiger grundsätzlicher Ueberlegungen.

Eine Fläche, die von einer senkrechten Lichtquelle bestrahlt wird, empfängt ein Maximum an Licht. Eine zur Lichtrichtung geneigte Fläche hingegen weist eine geringere Beleuchtungsstärke auf, weil ein gleicher Lichtstrom dann eine grössere Fläche anstrahlt:

$$\underline{E' = E \cos e}$$

E' = Beleuchtungsstärke auf einer geneigt zum Lichtstrom stehenden Flächeneinheit, in Lux

E = Beleuchtungsstärke auf einer senkrecht zum Lichtstrom stehenden Flächeneinheit, in Lux

e = Winkel zwischen beiden Ebenen, gemessen z. B. zwischen deren Lot

Den Quotienten $a = \frac{E'}{E} = \cos e$ nennen wir im folgenden 'relative Beleuchtungsstärke', und diese Grösse ist dann nur vom Winkel abhängig, den die Normale des betr. Flächenelementes und der Lichtvektor bilden. Wir berechnen also für jedes Flächenelement die 'relative Beleuchtungsstärke' $a = \cos e$ (wie Yoeli).

Nun müssen wir ein graphisches Medium finden, das diesen optischen Sachverhalt wiedergibt. Ein solches Mittel ist z. B. ein beleuchteter Film der an gewissen Stellen das Licht durchlässt und an andern nicht. Auf die neue Situation lassen sich nun folgende Begriffe anwenden:

Transparenz:
(auch Transmission,
Durchlässigkeit,
Durchlassgrad)

$$T = \frac{\text{durchgelassener Lichtstrom}}{\text{einfallender Lichtstrom}} \quad (5)$$

Opazität:

$$O = \frac{\text{einfallender Lichtstrom}}{\text{durchgelassener Lichtstrom}} = \frac{1}{T} \quad (6)$$

Schwärzung = Dichte:

$$D = \log O = \log \frac{1}{T} \quad (7)$$

Haben wir ein Filmmaterial, das an den einen Stellen absolut transparent, an den andern aber völlig undurchsichtig ist, so ist die Transparenz T dieses Filmes gleich dem Flächenanteil der durchlässigen Stellen. Diese Flächenbedeckung lässt sich nun aber völlig losgelöst von optischen Begriffen rein geometrisch berechnen, und damit ist es uns möglich, den numerischen Bezug von der berechneten relativen Beleuchtungsstärke a zu einem Reproduktionsmedium herstellen; Ist der Film aus quadratischen Rasterzellen aufgebaut, so gilt für jede einzelne Rasterfläche:

$$\text{Transparenz } T = \frac{\text{durchlässiger Teil der Rasterfläche}}{\text{Total Rasterfläche}} \quad (8)$$

Wir wenden nun diese Gleichung auch für nicht-transparente Medien an (schwarze Rasterpunkte auf weissem, reflektierendem Grund) und setzen

$$T = \text{Weissanteil einer Rastereinheit.}$$

Andererseits setzen wir auch

$$T = a,$$

und also gilt

$$\text{Weissanteil der Rastereinheit} = T = a = \cos e. \quad (9)$$

Auf unseren Printer bezogen heisst dies nun, dass wir ein Flächenelement durch eine Signatur darstellen wollen, deren Weissanteil an der Gesamtfläche einer Rasterzelle der Grösse $\cos e$ entspricht (oder nahekommt). Die Grösse $T = a = \cos e$ bezeichnen wir in unserer Arbeit fortan mit dem Begriff Transparenz (T).

Vorerst wurde der Versuch unternommen, mit dem Standardzeichensatz des Printers durch Uebereinanderschlagen Signaturen verschiedenster Flächenbedeckung zu erzeugen. Aus drei Gründen führten diese Versuche aber nicht zum erwünschten Resultat:

- Die kleinsten Printersignaturen (Punkt, Apostroph) bedecken bereits einen relativ grossen Anteil einer Rasterzelle; keine Abstufung in den hellen Grautönen.
- Rund um die Signaturen bleibt immer ein weisser Rand; es fehlen also die Signaturen mit einer Flächenbedeckung über ca. 70 %: Keine Abstufung in den dunklen Graustufen.
- Minimale Verschiebungen eines der verschiedenen Standardzeichen führen sofort zu einer unerwünschten Änderung der Helligkeit; Ungenauigkeiten in den Mitteltönen.

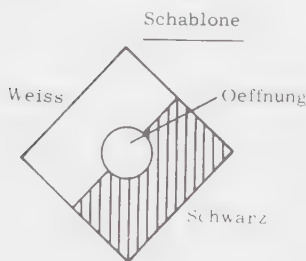
Diese Ergebnisse bewogen uns, quadratische Zeichen gewünschter Flächenbedeckung gravieren zu lassen. Die Druckzeichen des Printers IBM 1443 sind in Form von Segmenten in einem Druckstab aufgesteckt. Sie bewegen sich beim Druckvorgang hin und her, und die einzelnen Zeichen werden in der gewünschten Druckposition von Bolzen auf das Papier geschlagen. Die verschiedenen Segmente enthalten je 13 Zeichen und können einzeln auf den Druckstab aufgesteckt werden. Für uns war es naheliegend, auf ein solches Segment unsere

neuen Zeichen gravieren zu lassen: Folglich mussten wir 13 Signaturen konstruieren, die dann eine Graukeil ergeben, wie man ihn in der Reproduktionstechnik benutzt. Wählt man 13 Stufen mit proportional wachsender Flächenbedeckung, so beträgt der Transparenzwert T dieser Zeichen (d.h. der Anteil an der Fläche einer Rastereinheit, der durch diese Signaturen nicht bedeckt wird, also der Weissanteil):

$$T = .92 \ .85 \ .77 \ .69 \ .61 \ .54 \ .46 \ .39 \ .31 \ .23 \ .15 \ .07 \ .0$$

Nun sollte man vor dem Gravieren wissen, ob solche Signaturen proportional wachsender Flächenbedeckung wirklich einen für das Auge gleichförmig abgestuften Graukeil abgeben und ob sie die für Handschummerungen charakteristischen Helligkeitsbereiche wirklich differenziert wiederzugeben vermögen. Um diese Frage zu klären, wurden vorerst einige Testuntersuchungen an bestehenden Schräglichtschattierungen (Originale, Graudrucke etc.) durchgeführt. Diese Abbildungen wurden folgendem Prozedere unterworfen:

- Justieren des Densitometers auf dem Papierweiss.
- Bestimmen der dunkelsten und hellsten Stelle (hellste Stelle: meist Papierweiss) auf dem jeweiligen Beispiel.
- Untergliederung des oben gefundenen Grauspektrums nach subjektivem Empfinden in eine Anzahl eben noch unterscheidbarer Stufen. Dazu wurden einige Papierschablonen (s. Fig. 12) auf dem Untersuchungsgegenstand so lange hin und her geschoben, bis in der Schablonenöffnung die gewünschten Graustufen sichtbar waren (zur Verhinderung von optischen Täuschungen ist die eine Hälfte der Schablone weiss, die andere schwarz gehalten).

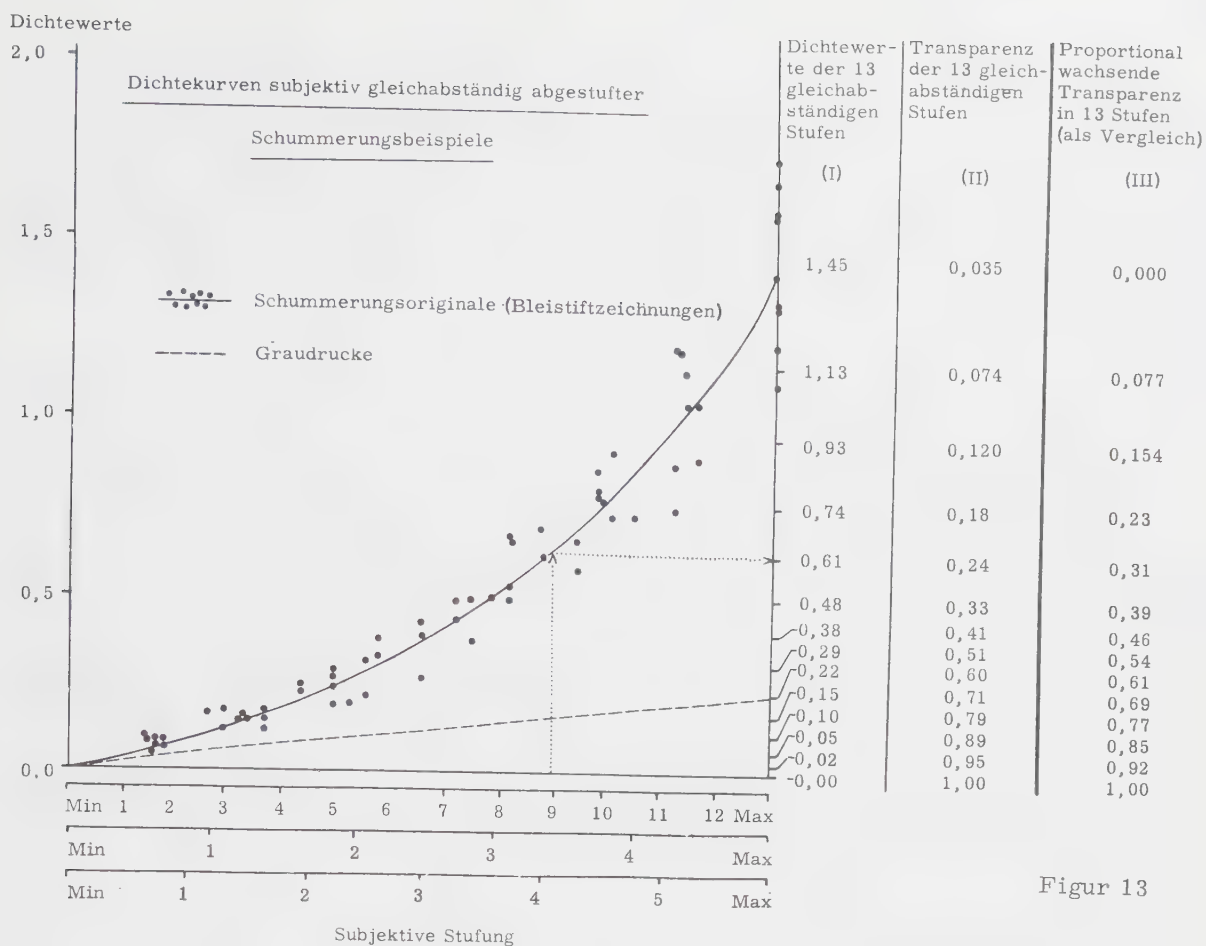


Figur 12

- Ausmessen der Dichtewerte sämtlicher gefundener Stufen mit dem Densitometer.
- Darstellung der Resultate in Diagrammen.

Aufgrund dieses Tests kann vorerst gesagt werden, dass ausser dem Dichtemaximum und -minimum auf Originalschattierungen 7-8, auf Graudrucken aber nur noch rund 4 Helligkeitsstufen unterschieden werden können. Daraus kann man schliessen, dass durch den Reproduktions- und Druckprozess Informationen verloren gehen, die im Original vorhanden sind. Andererseits liesse sich sagen, dass für die Darstellung von Originalen - in unserem Falle mit Printerzeichen - gar nicht viele Helligkeitsstufen nötig sind, da diese im Reproduktionsprozess wieder zu einer kleineren Zahl zusammenfallen werden. Für die vorangehenden Aussagen haben wir allerdings nicht berücksichtigt, dass die Grauplatte im Druck durch andere Relieffarben ergänzt wird, die dann unter Umständen die fehlende Information enthalten. Wie es sich in unseren Arbeiten denn auch gezeigt hat, sind für feine Uebergänge (kontinuierliche Grautonänderungen über grössere Flächen hinweg) möglichst viele diskrete Stufungen zu verwenden.

Im Diagramm (Fig. 13) sind in der Vertikalen Dichtewerte, auf der Abszisse die subjektiv gefundenen Stufen eingetragen.



Figur 13

Die Punkte zeigen die Messungen auf den Schummerungsoriginalen; die eingetragene Kurve wäre somit ein Index für "Gleichabständigkeit". Untergliedern wir die Abszisse in 13 gleiche Teile, so können wir auf der Ordinate die Dichtewerte für die 13 gleichförmigen Stufen ablesen. (Berücksichtigt man die Streuung der Messwerte, so wird sofort klar, dass diese Kurve lediglich gewisse Hinweise liefert.) Aus diesen Dichtewerten (I) ist dann die zugehörige Transparenz berechnet und ebenfalls in die Figur eingesetzt worden (II). Zum Vergleich stehen daneben (III) die Transparenzen eines flächenhaft proportional abgestuften 13-schrittigen Keiles. Da bei (II) und (III) die einzelnen Tonwertschritte nicht stark voneinander abweichen und wir zum entspr. Zeitpunkt keine genauen Anhaltspunkte über das Verhalten der Punkte im Reproduktionsprozess besaßen, haben wir Signaturen mit konstant wachsenden Transparenzen konstruiert; einzig die beiden hellsten Signaturen wurden etwas kleiner gezeichnet, weil sie wegen ihrer geringen Flächenbedeckung beim Anschlagen im Printer automatisch etwas zu gross abgebildet werden. Bezüglich der Form der Zeichen wurden ebenfalls Vorversuche durchgeführt (vgl. Tafel 1.5; bedeutet soviel wie Tafel 1, Abbildung 1.5), und die endgültig gewählten Signaturen sind in verschiedener Grösse auf

der Tafel 1 dargestellt. Versuchsweise wurde neben dem Zeichensatz mit 1 Zeichen pro Rastereinheit (Tafel 1. 4 oben) ein Segment mit 4 Zeichen pro Type (Tafel 1. 4 unten) erstellt. Damit sollte erreicht werden, dass beim Ausdrucken einer Information direkt vom Printer weg ein 8-er-Raster (8 L/cm) statt eines 4-er-Rasters vorliegt. Bei Benützung unseres Rasters für den Druck haben wir dann den Vorteil, dass die Abbildungen weniger stark verkleinert werden müssen. Diese Methode hat sich aber nicht bewährt: erstens konnten die vier kleinen Zeichen nicht genügend genau graviert werden, und zweitens wirken sich Ungenauigkeiten im Zeilenvorschub des Printers mit diesen Zeichen optisch sehr störend aus. Tafel 2. 4 ist mit diesen Signaturen dargestellt worden.

Nach der Gravur wurde durch empirisches Austesten die Graustufung noch etwas verbessert, indem die verschiedenen Zeichen sinnvoll kombiniert übereinandergeschlagen worden sind. Die kleinsten Zeichen werden vom Printer einmal, die mittleren zweimal und die grossen dreimal angeschlagen. Der kleinste Punkt erwies sich trotz der anfänglichen Korrektur als zu gross. Aus mechanischen Gründen (Intensität des Anschlages) war eine weitere Verkleinerung aber nicht sinnvoll. Um im hellsten Bereich trotzdem eine Abstufung zu ermöglichen, ist noch eine zusätzliche helle Stufe eingeführt worden: Dies wurde dadurch erreicht, dass die kleinste Signatur nur in jedem zweiten Feld angeschlagen wird (vgl. hellste Stufe in Tafel 1. 1). Wird in einem Relief einer Rasterzelle diese Helligkeitsstufe zugeordnet, so testet das Programm, ob der kleinste Punkt gedruckt werden soll: Ist die Summe aus Zeilennummer und Kolonnennummer der jeweiligen Zelle eine gerade Zahl, so wird dieser Punkt angeschlagen, andernfalls nicht (bzw. umgekehrt). - Die so gewonnene Stufe weist eine Transparenz von rund 0.96 auf und entspricht somit ungefähr der ersten Abstufung der Figur 13 (0.95).

Entsprechend der Transparenz der einzelnen Zeichen haben wir den Bereich von 0 - 1 in 14 Klassen mit folgenden Klassengrenzen unterteilt:

	weiss														schwarz	
Signatur	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
T (Signatur)	1.0	.96	.92	.85	.77	.69	.61	.54	.46	.39	.31	.23	.15	.07	.00	
T (Klassengrenze)	.98	.95	.88	.80	.73	.65	.57	.50	.42	.34	.27	.19	.11	.038		

Für alle unsere dargestellten Beispiele haben wir die Zuordnung dieser Tabelle benutzt. Es ist aber möglich, für irgend einen Zweck die Klassengrenzen beliebig zu verschieben.

Zur Beurteilung der Printerzeichen betrachten wir die 'Kegelring'-Darstellungen auf Tafel 3. Besonders auffällig sind die Schritte vom Weiss zur ersten Graustufe (lässt sich nicht vermeiden) sowie von der zweiten zur dritten Signatur auf der dunklen Seite des Spektrums. In diesen beiden Fällen wären für weitere Arbeiten also die Klassengrenzen etwas zu verschieben.

Bei sämtlichen geometrischen Figuren der Tafeln 2 und 3 fällt der grosse Flächenanteil der dunkelsten Stufe auf. Dies hängt daran, dass wir vom Licht abgewendete Flächen (e grösser als 90° , cos e negativ), mit der vollschwarzen Signatur dargestellt haben. Das hat zur Folge, dass in Schattenpartien - also an Stellen, die kein direktes Licht erhalten - nicht mehr differenziert werden kann. Wir haben aber die Möglichkeit, die Klassengrenzen so zu schieben, dass auch für negative Werte von cos e Signaturen mit einem Weissanteil gesetzt werden. - In der Praxis hat sich dies allerdings bei unseren Beispielen nicht aufgedrängt, da bei der Lichtneigung von 45° die dem Licht abgewandten Stellen relativ kleinflächig und selten sind.

Die grosse Schwäche unseres Darstellungssystems sind die Unregelmässigkeiten im Zeilen-vorschub (horizontale Streifung). Zum Teil sind sie durch manuelle Retouchen etwas ausgeglichen worden. Verbesserungen in der Mechanik sind zwar noch möglich, doch werden kaum restlos befriedigende Resultate zu erwarten sein. Gewisse Unschönheiten sind auch an den Nahtstellen der zusammengefügt Computerstreifen nicht zu vermeiden. Trotz dieser Mängel hat die gewählte Darstellungskonfiguration für unsere Ziele ausgereicht: Wir wollten unsere Modelle austesten, indem wir verschiedenste Varianten optisch darstellten, um sie einer differenzierten Betrachtung zu unterwerfen.

4.3 Datensätze

Als Grundlage für das automatisierte Schattieren werden digitale Geländedaten benötigt. Für unsere Arbeit benützten wir einen sog. Höhenkotenraster; Ueber das Untersuchungsgebiet wird ein Raster gelegt, und die Höhenlage an den einzelnen Schnittpunkten wird registriert. Der Höhenkotenraster ist also ein digitales Geländemodell, bei dem die gespeicherten Datenelemente in konstanten Abständen gitterartig über das Untersuchungsgebiet verteilt sind.

Das Untersuchungsgebiet sollte für gebirgiges Gelände möglichst repräsentativ sein, und wir wählten einen Ausschnitt der Waadtländer- und Walliser-Alpen (Schweiz). Wir finden hier sowohl abgerundete Formen wie auch schroffe Felspartien; unser Ausschnitt reicht von der Rhoneebene auf rund 500 m bis hinauf zu den Gipfeln mit Höhen über 3000 m; neben klaren und einfach darzustellenden Formen finden wir Reliefabschnitte, die an eine Schattierung hohe Anforderungen stellen.

Es sind folgende 2 Datensätze aufgenommen worden:

- 100-m-Höhenkotenraster für das Gebiet der beiden Blätter 'Les Diablerets' (Nr. 1285) und 'Dt. de Morcles' (Nr. 1305) der Landeskarte der Schweiz 1:25 000. Das aufgenommene Gebiet bedeckt also eine Fläche von 17.5 x 24 km, mit insgesamt 175 x 240 Kotenpunkten.
- 50-m-Höhenkotenraster der linken Blatthälfte 'Les Diablerets' (1285) der Landeskarte der Schweiz 1:25 000, 10 x 12 km, also 200 x 240 Rasterpunkte.

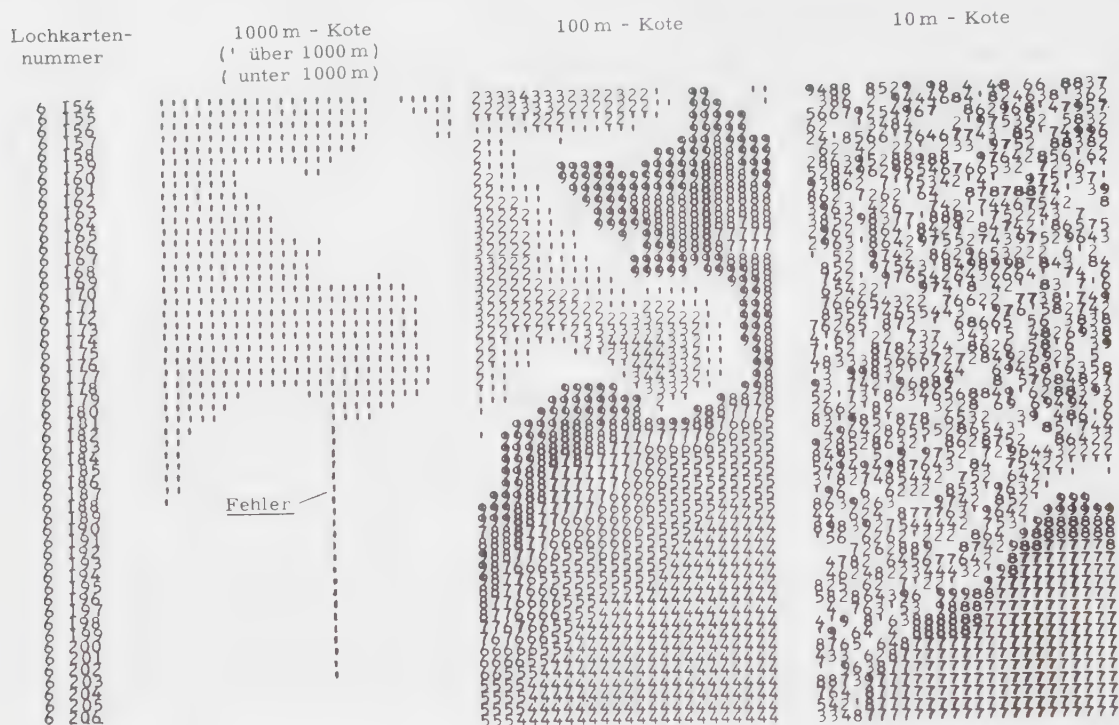
In unserem Falle sind diese Daten aus einer bestehenden Karte gewonnen worden, über die ein quadratischer Raster gelegt worden ist. Diese Daten können grundsätzlich aus beliebigen Quellen stammen (Luftbilder, Datenbanken etc.).

Auf den verwendeten Kartenblättern sind vorerst die 100-m-Höhenkurven mit unterschiedlichen Farbstiften eingefärbt worden, um damit die Orientierung zu erleichtern. Dann wurde ein 4-bzw. 2-mm-Raster aufgelegt und die Höhe der Rastereckpunkte aufgrund der benachbarten 20-m-Isohypsen auf 10 m genau abgeschätzt und auf Lochkarten übertragen. In der Praxis erwies es sich als ökonomisch, diese Datenaufnahme mit zwei Personen durchzuführen, wobei die eine den Kotenwert aus der Karte herausliest und die andere diesen direkt ablocht. Wird ein Zwischenschritt eingefügt, in dem die herausgelesenen Höhenwerte zuerst in einem Protokoll festgehalten und erst nachher abgelocht werden, so erhöht sich damit sowohl der Zeitaufwand wie auch die Fehlerhäufigkeit. Auf diese Weise wurden für das Ablochen von 1000 Höhenkoten rund 40 Minuten gebraucht, was für die beiden Datensätze mit ihren 42 000 + 48 000 Rasterpunkten insgesamt rund 65 Stunden (à 2 Personen) ausmacht.

Für die Datenkontrolle sind spezielle Printerabbildungen erstellt worden (Fig. 14).

Figur 14

PRINTEROUTPUT ZUR KONTROLLE DES HOHENKOTENRASTERS



Neben der Lochkartennummerierung sind darin für den 1000-er, den 100-er und den 10-er Wert der abgelochten Höhenkoten spezielle Figuren ausgedruckt worden, aus denen sowohl die exakten Kotenwerte, als auch die Geländeformen im Zusammenhang ersichtlich sind (Verwendung von Signaturen unterschiedlicher Schwärzung). Grobe Fehler fallen sofort auf, und bei einiger Uebung können durch systematische Betrachtung auch feinere gefunden werden.

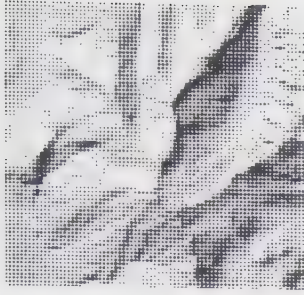
Mit einem Plotter sind aufgrund der Höhenkotendaten Isoliniendarstellungen gezeichnet worden (s. Tafel 8.1), die eine zusätzliche Kontrollmöglichkeit bieten. Ein Datenfehler hat eine Verzerrung des Kurvenbildes zur Folge, und er kann durch Vergleich der Plotterdarstellung mit den Isohypsen der Ursprungskarte gefunden werden.

Im Laufe dieser Arbeit erwies es sich als notwendig, Daten über den Verlauf von Kantenlinien (Gerippelinienzeichnung) aufzunehmen. Zur Gewinnung dieser Informationen sind in die Isohypsendarstellungen Kämme und Gräben eingezeichnet und anschliessend digitalisiert (Umsetzung der Kanteninformation in Zahleninformation) worden. Dazu wurde ein Digitalisiergerät benötigt: Mit der Messlupe fährt man den Linienelementen des Untersuchungsgegenstandes nach, und durch eine Auslösetaste kann dem Apparat befohlen werden, die genaue Position der Messlupe bezüglich eines zum voraus definierten Koordinatennullpunktes zu registrieren und in Form von mehrstelligen Codes auf Lochstreifen oder Magnetband abzuspeichern (x- und y-Werte in Hundertstel-Millimetern). So lässt sich der azimuthale Verlauf einer Kurve, in unserem Falle einer Kantenlinie, mit geringem Zeitaufwand und kleinem Speichervolumen genau festhalten. Vermerkt wird also die Position von sog. Stützpunkten, und diese sind so zu setzen, dass aus ihnen die für die weitere Behandlung benötigten Charakteristika der Kanten wieder reproduziert werden können. Zusätzlich zu den Koordinatenwerten lassen sich mit einer Tastatur Schlüsselcodes eintippen, die den Beginn oder das Ende eines Linienzuges kennzeichnen; ferner kann auch andere Zusatzinformation - in unserem Falle z. B. die Kantenkategorie (s. Kapitel 5) - eingegeben werden.

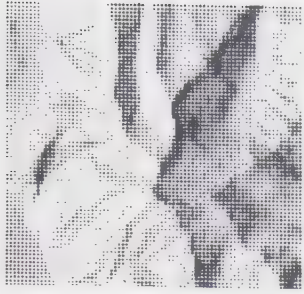
Für unsere Aufnahmen (vgl. Tafel 8.3) haben wir ein Gerät benutzt (Codimat), das die gespeicherten Daten auf Lochstreifen herausgibt. Diesen Output haben wir für die spätere Benützung umcodiert und auf Magnetband übertragen.

Als weiterer Datensatz ist die 'Wohnbevölkerung 1960' aus dem 'Datenraster Region Zürich' (eine Informationssammlung am Geogr. Institut der Universität Zürich) verwendet worden. Für rechteckig begrenzte Gebiete von 1 x 1.25 km sind darin die Bevölkerungswerte 1960 abgespeichert. Die Manipulationen, denen wir diese Daten unterworfen haben, beschreiben wir bei der Besprechung der Tafel 17 im Kapitel 6.1.

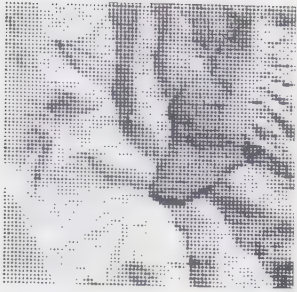
Sämtliche Daten sind - wenn immer es sich als sinnvoll erwiesen hat - auf Speichern mit direktem Zugriff abgelegt worden. Dies gilt auch für Zwischenspeicherungen innerhalb der einzelnen Programme.



5.1 Konstante Beleuchtungs-
richtung NW



5.2 Konstante Beleuchtungs-
richtung W

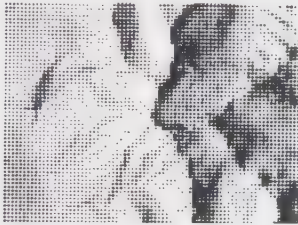


5.3 Konstante Beleuchtungs-
richtung SW

Schräglightschattierung Dt. de Morcles Massstab 1:200'000
Verkleinerung 1:5.08, 20-er-Raster



5.4

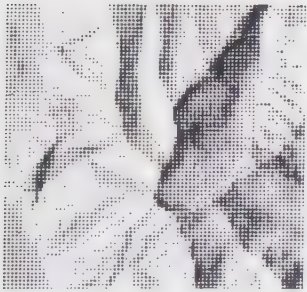


5.5

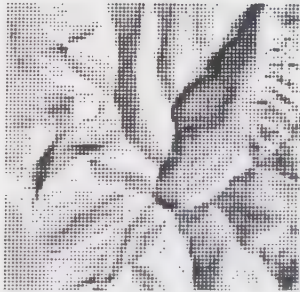
Helligkeitkorrekturen nach der Höhenlage

5.4 W-Beleuchtung, keine
Helligkeitskorrekturen

5.5 Kontrasterhöhung in hohen,
Kontrasterniedrigung in tief-
liegenden Gebieten



5.6



5.7

Variation der Lichtrichtung

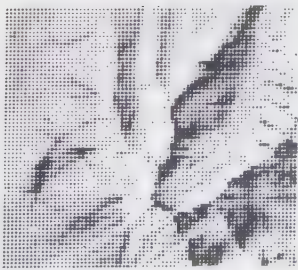
Hauptlichtrichtung: W
Selektive Lichtdrehung für jeden Raster-
punkt, abhängig von der Richtung der um-
liegenden Kämme und Gräben.

5.6 Maximale Abdrehung des Lichtes um
20°.

5.7 Maximale Abdrehung des Lichtes um
80°.



5.8



5.9

Darstellung mit 13 bzw. 8 Graustufen

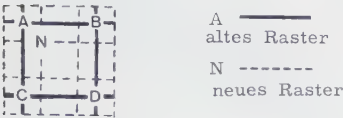
Hauptrichtung NW, Helligkeitskorrekturen
und Lichtrichtungsanpassung.

5.8 Darstellung mit 13 Graustufen

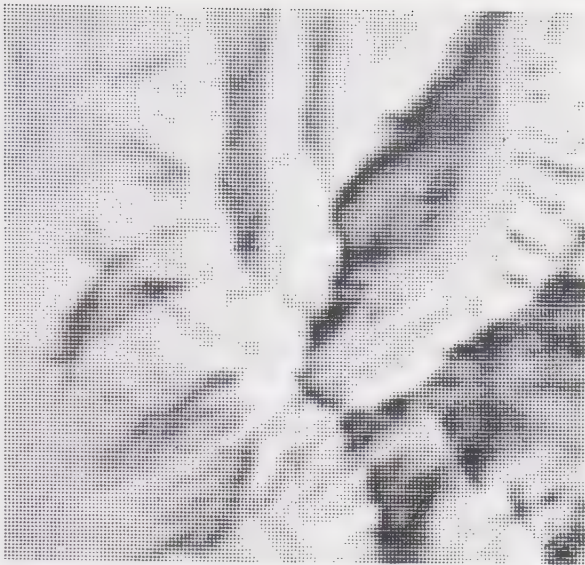
5.9 Darstellung mit 8 Graustufen

Aufblähen einer Abbildung (s. Text)

Aus den Informationen eines groben Rasters wird (ohne zusätzliche Information) ein feines Raster generiert.



Dent de Morcles, W-Beleuchtung Massstab 1 : 100'000
ca. 5x verkleinert, 20er-Raster



6.1 Weiches Aufblähen
 $N = 0,45 A + 0,2 (B+C) + 0,15 D$



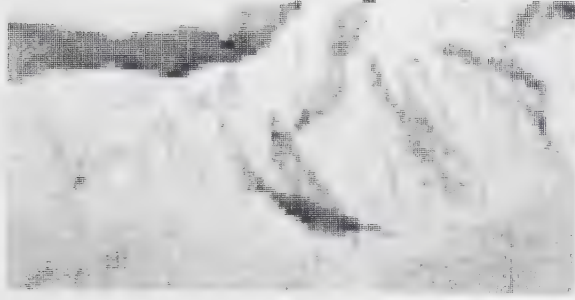
6.2 Mittel-hartes Aufblähen, hier im Beispiel
 $N = 0,6 A + 0,2 (B+C) + 0,0 D$



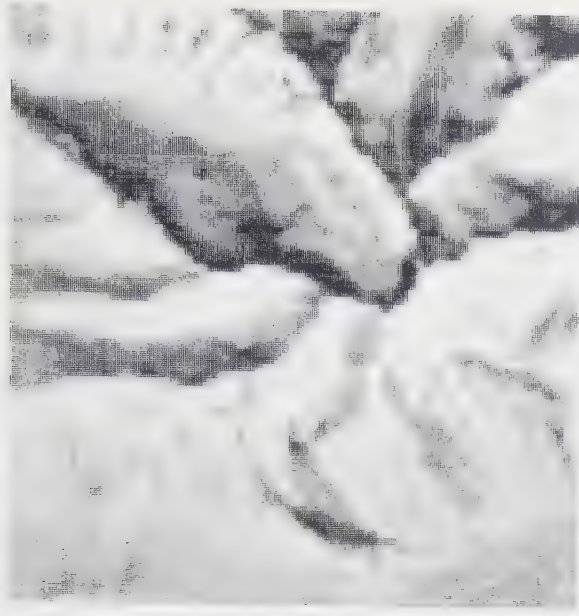
6.3 Hartes Aufblähen; nur nächsten Nachbarn
berücksichtigt.
 $N = 1,0 A + 0,0 (B + C + D)$



7.1 Der aus der Landeskarte aufgenommene 100m-Höhenkotenraster ist mit dem Interpolationsprogramm zu einem 50m-Raster ergänzt worden. Schräglächtschar-
tierung des 50m-Modells und anschliessend mittel-
hartes 2-maliges Aufblähen.



7.2 2-maliges Aufblähen,
zuerst hart, dann mittel-
hart.



7.3 2-maliges Aufblähen, zuerst mittelhart, dann hart.

Dents de Morcles (Schweiz)
Photographische Verkleinerung 1: 10,16
Massstab 1: 50'000
40er-Raster, 1 Rasterpunkt = 1/16 ha

Mehrmaliges Aufblähen

5. MODELLE UND VERSUCHE ZUR AUTOMATISCHEN SCHRAEGLICHTSCHATTIERUNG

5.1 Zum Modellbegriff

Nach Haggett und Chorley (1967) sind Modelle vereinfachte Bilder einer komplexen Welt; diese Welt wird in eine Reihe vereinfachter Systeme zerlegt, die einen Ueberblick über deren essentielle Charakteristika erlauben. Diese verschiedenen Systeme stehen in gegenseitigen Verhältnis zueinander, sie zeigen verschiedene Aspekte ein und desselben Ganzen.

"... die Realität existiert als ein strukturiertes und zusammengehöriges Ganzes und sie ist mit Hilfe vereinfachter Symbolsmuster, Regeln und Prozesse erforscht worden. Die vereinfachten Darstellungen dieser strukturellen Interdependenzen werden als 'Modelle' bezeichnet. Ein Modell ist also eine vereinfachte Strukturierung der Realität, die vermutlich signifikante Gesichtspunkte oder Beziehungen in generalisierter Form wiedergibt." (nach Haggett und Chorley 1967, S. 22).

Ein wesentliches Charakteristikum von Modellen ist ihre Selektivität: In generalisierter Form wird das Fundamentale, Relevante hervorgehoben, Details werden vernachlässigt. Modelle kann man sich als eine Reihe von Bildern vorstellen, von denen jedes einige Gesichtspunkte unserer Kenntnisse hervorhebt und andere verschleiert, vernachlässigt. Mit solchen Bildern wird versucht, einen komplexen Sachverhalt, ein komplexes System in einfachere Systeme zu zerlegen, die leicht verständlich oder uns so vertraut sind, dass sie keiner weiteren Erklärung bedürfen. Modelle sind nicht richtig oder falsch, sie sind nur mehr oder weniger geeignet, das zu zeigen, was man für das Charakteristische hält.

Wenn wir nun den Modellbegriff für unsere Arbeit verwenden, so gehen wir davon aus, dass das manuelle Schummern vorerst ein unübersehbarer, komplexer Arbeitsgang ist, der von verschiedensten subjektiven Momenten abhängt. Wir versuchen dann, schrittweise die einzelnen Tätigkeiten zu objektivieren, sie in Regeln zu fassen und so zu formulieren, dass sie auf maschinell Wege nachgeahmt werden können. Es wird nicht möglich sein, die ganze Komplexität zu erfassen, immer wird Spezielles unerklärt bleiben. Wir versuchen aber, die fundamentalen Aspekte zu berücksichtigen und nur Unwesentliches wegzulassen.

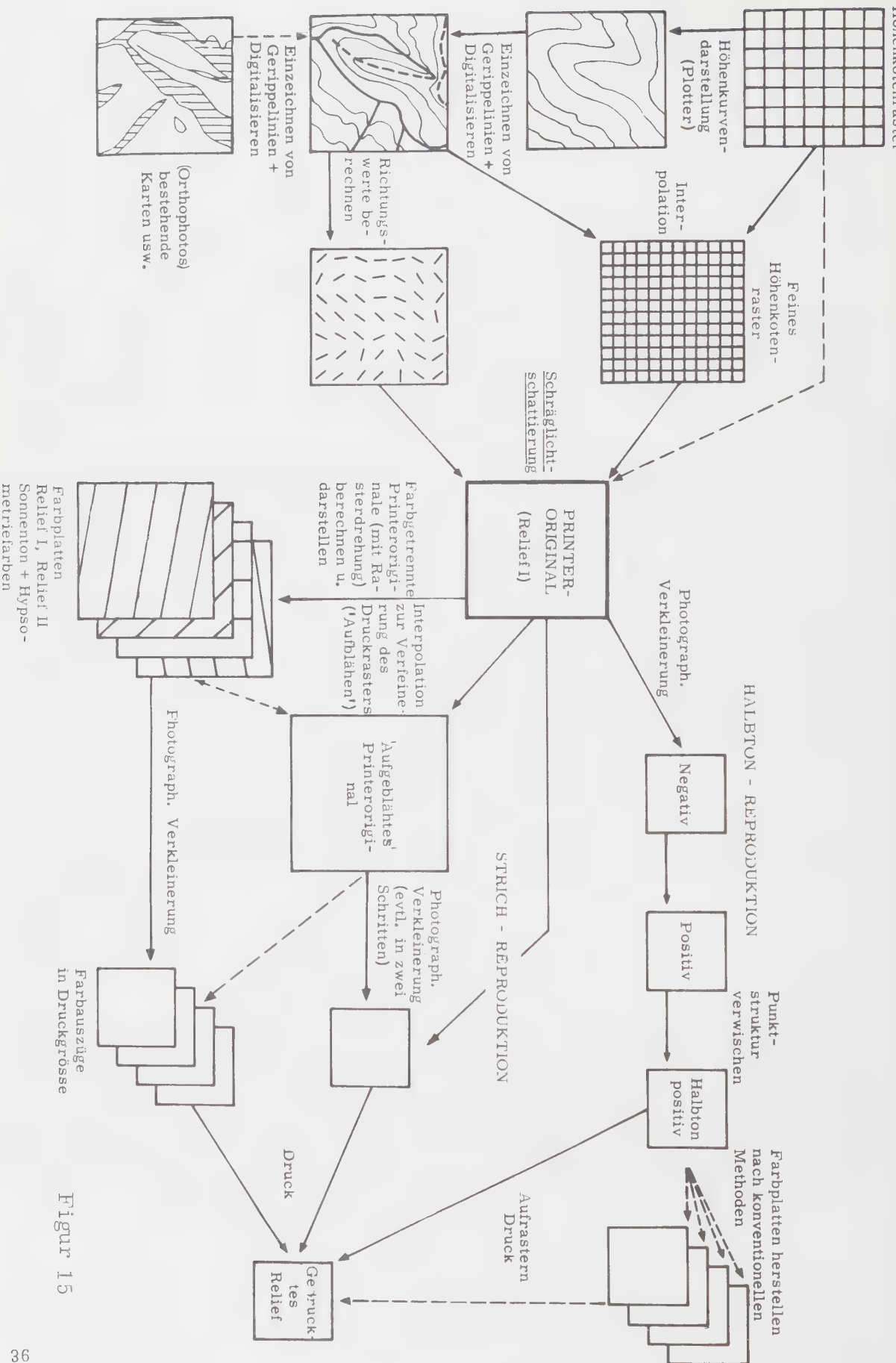
Aus dieser Sicht fassen wir also in mathematische Formeln gekleidete Regeln und graphische Techniken, die geeignet sind, die komplexen Handschattierungen nachzuahmen, als Modelle auf.

5.2 Vorarbeiten

Um dessen wesentliche Grundzüge kennenzulernen, war eine eingehende Beschäftigung mit dem Handschummern notwendig. Dies geschah durch Literaturstudium, in Diskussionen mit Fachleuten und aufgrund einzelner eigener Schummerungsversuche. Ferner haben sich zwei Kartographen (Dr. Ch. Herrmann und K. Mayek) bereit erklärt, aufgrund von handgeschummerten Entwürfen einzelnen Rasterfeldern Helligkeitswerte (bzw. entsprechende Signaturen) zuzuordnen. Diese Versuche, die auf Tafel 2 (2.1 - 2.4) in verschiedenen Techniken dargestellt sind, boten Einblick ins Vorgehen des Handinterpretieren und dienten andererseits dazu, an ersten praktischen Beispielen die Wirkung der Spezialsignaturen auszutesten.

(ursprüngliches)
Höhenkotenraster

ÜBERBLICK ÜBER DIE VERSCHIEDENEN DURCHFÜHRTEN VERSÜCHE



Figur 15

Für weitere Versucharbeiten wurden Routinen geschrieben, die die Oberfläche von verschiedenen geometrischen Körpern simulieren: Halbkugel, Kegel, 'Kegelring' und Torus (s. Tafeln 2 und 3). Insbesondere die beiden letzten zeigten sich für unsere Arbeit als sehr nützlich. Sie weisen eine kreisrunde Kulminationslinie auf, die einen Grat verkörpert (scharf geknickt, bzw. abgerundet), der alle azimutalen Richtungen annimmt. Auch die Neigungsverhältnisse werden mit diesen beiden Körpern ausreichend demonstriert: Der 'Kegelring' zeigt gleichmässig geböschte Hänge, während im Torus alle Neigungswinkel (horizontal bis vertikal) vorkommen. Diese beiden Körper können also als hypothetisches Gebirge betrachtet werden, das alle möglichen Richtungs- und Neigungsverhältnisse enthält.

Diese Figuren dienten dazu, die verschiedenen Programmvarianten der einzelnen Teilmodelle auszutesten. Programmfehler und unlogische Konzeptionen wurden hier sofort sichtbar (z.B. als Diskontinuitäten).

5.3 Ueberblick über die Modelle und Versuche

Wir wollen mit möglichst geringem Aufwand an manueller Arbeit, an Computer- und Materialkosten eine qualitativ ausreichende Schräglichtschattierung erzeugen. Bereits in der Einleitung haben wir angedeutet, dass bezüglich Qualität und Aufwand möglicherweise halbautomatische Verfahren optimal sind. So haben wir in unseren Versuchen sowohl manuelle als auch maschinelle Arbeitsschritte eingeschlossen. Da die manuellen Arbeitsschritte sich aber auf die Vorbereitungsphase beschränken, sprechen wir hier trotzdem von automatischer Schummerung.

Bei den nun folgenden Ausführungen halten wir uns an die Figur 15, die eine schematische Uebersicht über Modelle und durchgeführte Versuche gibt.

Als Grundlage setzen wir ein Höhenknotenraster voraus. In unserer Arbeit haben wir einen Quadratraster über eine topographische Karte gelegt und anhand benachbarter Isohypsen die die Höhe der einzelnen Rasterschnittpunkte abgeschätzt und auf Lochkarten übertragen. Diese Daten können aber grundsätzlich auch aus anderen Quellen stammen (Luftbilder, Datenbanken etc.). Aus diesen Daten kann vorerst mit Hilfe eines Plot-Programmes eine Isohypsendarstellung gezeichnet werden (automatisch). Anhand dieser Abbildung ist es nun leicht möglich, manuell das Gebiet zu gliedern. Dies geschieht, indem Gerippelinien (Gräben, Kämme, Hangfüsse etc.) eingezeichnet werden (s. Tafel 8.1). Es ist dies ein Arbeitsgang, wie ihn ähnlich auch jeder Hadbearbeiter vor dem Schattieren durchführt. Das Aufsuchen von Kantenlinien liesse sich unter Umständen automatisieren, doch ist dieses Problem recht komplex, und es würde viel Rechenaufwand bedingen (vgl. Programm WATERSHED von W. D. Rase; Peucker 1972/d, S. 24). Eine manuelle Interpretation hat dazu den Vorteil, dass in diesem Arbeitsgang die subjektiven Momente hineingebracht werden können, von denen die Qualität einer Schräglichtschattierung abhängt. In unserem Falle wurde zwischen 3 verschiedenen Kategorien von Kantenlinien unterschieden, nämlich (vgl. Tafel 8.1 und 8.3):

1. Hauptlinien des Gebirgszuges, Haupttalachsen
2. Geländelinien, die grosse Kammern begrenzen (Täler, Kämme mit deutlichen Flanken), die aber nicht in der Hauptgebirgsrichtung liegen.
3. Feinkammerungslinien wie Runsen und steilabfallende Grate.

Durch geeignete Interpretation des Kurvenbildes können nun leicht angedeutete Grate überbewertet und andere wieder vernachlässigt werden. Diese Gerippelinien dienen später

- als Grundgerüst für die Interpolation zur Verfeinerung des Höhenkotenrasters (wenn notwendig)
- zum Abdrehen der Lichtrichtung bei der Beleuchtung der einzelnen Flächenelemente des Reliefs; das Licht wird so gedreht, dass sich die 'stummen' Stellen auf ein Minimum reduzieren. Die wichtigsten Linien (Kanten 1. Kategorie) beeinflussen die Lichtanpassung stärker als Kanten 3. Kategorie.

Ob die hier vorgeschlagene Untergliederung in drei Kategorien sinnvoll ist, wird später zu diskutieren und eventuell in Untersuchungen, die über diese Arbeit hinausgehen, abzuklären sein. Dieser Arbeitsschritt setzt Erfahrung im Umgang mit der Reliefschattierung voraus, hier bleibt ein wichtiges Tätigkeitsfeld für den Kartographen. Statt auf Plotterdarstellungen kann diese Gebietsgliederung selbstverständlich auch auf bestehenden Karten etc. vorgenommen werden. Sind die Kantenlinien eingezeichnet, so schliesst als nächstes ein Digitalisieren dieser Linienelemente an (Umsetzung der Kanteninformation in Zahleninformation). Auf diesen Schritt sind wir im Kapitel 4 (4.3) genauer eingegangen. Als Produkte des Digitalisierens steht für jeden Linienzug ein variabel langer Datenrecord (= Datensatz) mit folgenden Informationen zur Verfügung:

1. Kategorie des Linienzuges
2. Zahl der Stützpunkte
3. Koordinatenpaare aller Stützpunkte

Diese Datensätze werden nun für die Berechnung der sog. 'Richtungswerte' und andererseits für allfällige Interpolationen verwendet.

Da der Aufwand für die Gewinnung von Höhenkotendaten für feine Rasternetze rasch gross wird, ist danach zu trachten, diesen Aufnahmeraster möglichst grob zu halten. Um trotzdem feinmaschige Schattierungen erstellen zu können, wird eine Interpolation eingeschoben, die in der Lage ist, das Rasternetz zu verdichten (d.h. zwischen 2 Rasterzeilen bzw. -kolonnen werden je 1, 2 ... weitere Zeilen bzw. Kolonnen eingeschoben, aus einem Rasterpunkt werden 4, 9, 16 etc., und für all diese berechnet das Programm je einen Höhenwert). Ausser den bekannten Höhenkoten bedient sich dieses Programm der abgespeicherten Kanteninformation und legt fest, dass bei Kantenlinien schroffe Umbiegungen, an allen anderen Stellen des Geländes aber weiche Uebergänge sein sollen.

In einem nächsten Schritt wird unter Benützung der Kanteninformation für jede später darzustellende Druckzelle ein sog. 'Richtungswert' berechnet. Diese Richtungswerte beeinflussen später die Richtung, aus der das einzelne Flächenelement zu beleuchten sein wird. Die Richtungswerte werden aus den Richtungen (azimutal) der ein Flächenelement umgebenden Gerippelinien berechnet und anschliessend auf externen Datenträgern (Magnetband) abgespeichert (1 Richtungswert je Flächeneinheit).

Im Zentrum der Versuche steht das Programm für die Schräglichtschattierung, in dem für jedes Flächenelement ein Transparenzwert berechnet und graphisch dargestellt wird. Eine genaue Besprechung dieses Modells erfolgt im Abschnitt 5.43. An dieser Stelle fügen wir stichwortartig die wichtigsten Manipulationen an, denen alle Flächenelemente unterzogen werden:

- Bestimmen der Flächennormalen
- Festsetzen der Neigung des Lichtvektors
- Berechnung der azimutalen Lichtrichtung unter Beizug der Richtungswerte
- Berechnung des Transparenzwertes aus dem Winkel zwischen Lichtvektor und Flächennormale
- Korrektur des berechneten Transparenzwertes unter Berücksichtigung der Höhenlage des Flächenelementes; dient zur Erreichung eines 'luftperspektivischen' Effektes

- Zuweisung eines Signaturcodes entsprechend korrigiertem Transparenzwert
- Darstellung auf dem Schnelldrucker IBM 1443 (Spezialzeichen).

Die auf diese Weise entstandenen Hell-Dunkel-Darstellungen nennen wir 'Printeroriginale' (vgl. Tafel 4). Um diese grossflächigen Schattierungen im Druck geeignet wiederzugeben, sind sie einem Reproduktionsprozess zu unterziehen. Einerseits kann man die Printeroriginale stark reduzieren (5-15 mal), sodass die Punktsignaturen des Printers direkt als Kopiervorlage zur Druckplattenherstellung verwendet werden können. Eine andere Reproduktionsmöglichkeit liegt darin, das gerasterte Printerbild nur wenig zu verkleinern und anschliessend durch einen speziellen photographischen Prozess zu entrastern, d.h. die Rastermusterung zu verwischen (näheres s. Kap. 5.46).

Für Mehrfarbendrucke können aus den Informationen des Printeroriginals (d.h. aus den Daten, die diesen zugrundeliegen), auf rechnerischem Wege weitere Printerdrucke erstellt werden, die wie photographisch gewonnene Farbplatten sich vom ersten Relief

- inhaltlich
- in der Stellung der Rasterung (zur Verhinderung von Moiré-Effekten)

unterscheiden. Durch entsprechende Verkleinerung lassen sich daraus Druckplatten erzeugen (vgl. Tafel 18).

Bei grosser Reduktion der Printeroriginale wird das Relief unter Umständen im Endmassstab zu kleinflächig und zu detailliert. Um dies zu verhindern, wurde ein Programm geschaffen, das aus den berechneten Transparenzwerten der einzelnen Rastereinheiten Werte für ein feineres Raster interpoliert. Stellt man die interpolierten Werte mit dem Schnelldrucker dar, so entstehen Printeroriginale, die gegenüber der Darstellung der Ausgangsdaten vergrössert sind. Da aber der Informationsgehalt dabei nicht verändert wird, sprechen wir hier von 'aufgeblähten' Printeroriginalen (eigentlich: Aufblähen der Daten).

Soweit die Uebersicht über Modelle und Versuche. In den folgenden Abschnitten werden die wichtigsten Prozeduren behandelt. An dieser Stelle sei erwähnt, dass im ganzen Arbeitsverlauf verschiedene Parameter variiert werden können, die sich gegenseitig u. U. wieder aufheben. So besteht ein Zusammenhang zwischen dem Setzen von Printersignaturen, den einzelnen Reproduktionsschritten und dem Druckvorgang; mit anderen Worten, aus dem endgültigen Druckresultat können Rückschlüsse auf das Setzen der Printersignaturen gezogen werden; andererseits können durch Variation der Reproduktionsschritte die Endresultate verändert werden. Wir haben solche Zusammenhänge in unserer Arbeit nicht berücksichtigt und uns mit ersten Versuchsergebnissen begnügt.

5.4 Besprechung wichtiger Prozeduren

5.41 Berechnung von Richtungswerten

Um im Schattierungsprogramm die Lichtrichtung entsprechend der Geländeform variieren zu können, muss für jedes Flächenelement ein sog. 'Richtungswert' berechnet werden. Diese Grösse wird aus den azimutalen Richtungen der benachbarten Kantenlinien gewonnen. Das Vorgehen ist in Figur 16 illustriert.

Das Programm, das diese Berechnungen durchführt, besteht im wesentlichen aus zwei Teilen: im ersten wird vorerst das leere 'Richtungsfeld' (Matritze für Richtungswerte) bereitgestellt, und der Verlauf der Kantenlinien wird darin abgebildet; im zweiten Schritt werden dann für die restlichen leeren Zellen die fehlenden Richtungswerte berechnet und diese Daten schliesslich insgesamt auf einem externen Speicher abgelegt.

Wie bereits früher besprochen, ist die Information über den Verlauf der Kanten in Form von Datenrecords variabler Länge auf einem Magnetband gespeichert. Diese Records werden nun sequentiell in den Computer eingelesen und laufend verarbeitet. Betrachtet werden jeweils Abschnitte zwischen zwei Stützpunkten. Die beiden Stützpunkte legen eine Gerade fest, und die Richtung der Geraden ergibt unsere gesuchten Richtungswerte, nach der Formel:

$$RW = \arctan \frac{dx}{dy} \quad (10)$$

RW = Richtungswert
dx, dy: Abstände der
beiden Stützpunkte in
x- bzw. y-Richtung

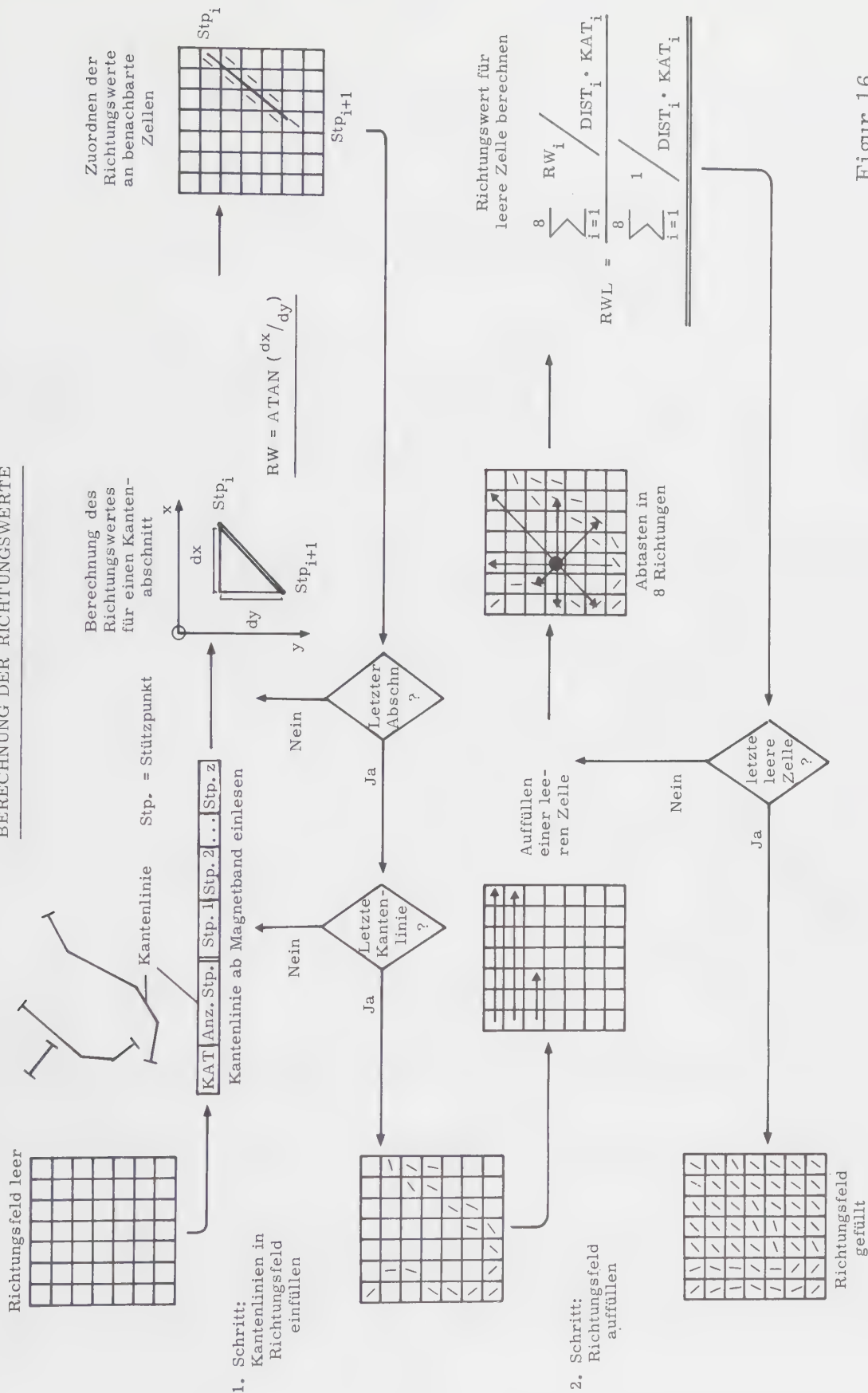
Da der Ursprung unseres Systems aus praktischen Gründen oben links (NW) liegt, kann über die Grösse von RW folgendes ausgesagt werden:

- RW liegt zwischen $-\pi/2$ (-90°) und $+\pi/2$ ($+90^\circ$)
- Eine Kante in NS-Richtung hat den Wert $RW = 0$
- Kanten in SW-NE-Richtung haben negative, solche in NW-SE-Richtung positive Richtungswerte
- Kanten genau in W-E-Richtung besitzen definitionsgemäss den Richtungswert $RW = +\pi/2$ ($+90^\circ$)

Der ermittelte Richtungswert wird nun allen Zellen im Bereich der beiden Stützpunkte zugeordnet, und zwar in der Weise, dass in jeder vertikalen, horizontalen oder diagonalen Zellenreihe, die die Verbindungslinie zwischen den Stützpunkten schneidet, mindestens eine Zelle mit diesem Richtungswert versehen ist.

Hier möchte ich einige speichertechnische Bemerkungen einschieben: Das Richtungsfeld kann sehr gross dimensioniert sein; so bestand es für unsere gezeigten Beispiele in der Regel aus $175 \times 240 = 42\,000$ Zellen. Weil diese Richtungswerte alle gleichzeitig im Kernspeicher sein müssen, und zugleich auch die Kantenkategorie, die den einzelnen Richtungswerten zugrundeliegt, mit abzuspeichern sind, ist die Speicherkapazität einer Rechenanlage rasch überfordert. Aus diesem Grunde werden Richtungswert und Kantenkategorie der einzelnen Flächenelemente in ein einziges Speicherwort gepackt und so gespeichert. Die dazu notwendige Datenmanipulation erfolgt in unserem Falle nach der Formel:

BERECHNUNG DER RICHTUNGSWERTE



Figur 16

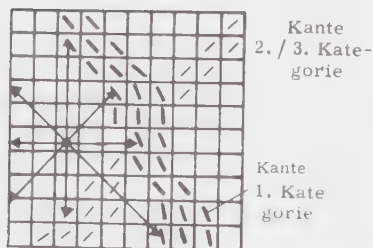
$$\text{RWS} = \text{Sign (RW)} * \frac{(\text{Kat}-1) * 10\,000 + \text{ABS (RW)} + 1000}{(11)}$$

wobei

RWS = abzuspeichernder Wert
 RW = berechneter Richtungswert
 Kat = Kategorie der bearbeiteten Kante (1, 2, 3)
 Sign (RW) = $\begin{cases} -1 & \text{für RW negativ (also: Vorzeichen des Richtungswerts)} \\ 0 & \text{für RW}=0 \\ +1 & \text{für RW positiv} \end{cases}$
 ABS () = Absolutwert von ()

Der Wert von RWS liegt also zwischen - 30 000 und + 30 000 und kann nun in einem 2-Byte-Wort (16 bit) untergebracht werden. RWS muss bei Gebrauch im zweiten Teil des Programms allerdings wieder entschlüsselt werden. Auf diese Weise gewinnen wir - auf Kosten von Rechenzeit - den Speicherplatz, den wir für grosse Datenfelder unbedingt benötigen.

Sind alle Kanten nach dem dargestellten Vorgehen behandelt, so wird in einem zweiten Teil des Programms für jede Zelle, der im ersten Teil noch kein Richtungswert zugeordnet worden ist, aus den umliegenden Zellen ein solcher berechnet. Grundsätzlich wird zeilenweise vorgegangen (N→S), innerhalb der Zeilen von links nach rechts (W→E). Von jeder bearbeiteten Zelle aus wird in allen vier Hauptrichtungen abgetastet, bis man zu einer besetzten Zelle (1., 2. oder 3. Kantenkategorie) gelangt. Der Wert der angetroffenen Zelle (RWS) wird dann in Richtungswert und Kantenkategorie aufgeschlüsselt. Zusätzlich wird von der bearbeiteten Zelle aus auch in diagonalen Richtung abgetastet, hier allerdings bis zur ersten Zelle, die von einem Richtungswert 1. Kategorie (Hauptgebirgsachsen) besetzt ist (vgl. Fig. 17).



Figur 17

Dadurch ist gewährleistet, dass die Lichtrichtung in jedem Falle von der Hauptgebirgsachse mitbestimmt ist und so der grossräumigen Gliederung des Reliefs Rechnung getragen wird.

Insgesamt resultieren nun für alle 8 Richtungen (N, S, E, W und diagonal) je ein Richtungswert (RW_1), eine Kategoriezugehörigkeit (KAT_1) sowie die Distanz zur bearbeiteten Zelle ($DIST_1$).

Aus diesen 8 x 3 Grössen wird nun ein gemittelter Richtungswert berechnet, nach der Formel:

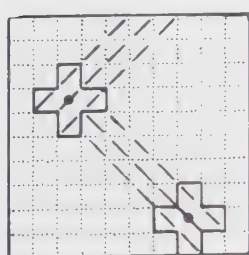
$$RWL = \frac{\sum_{i=1}^8 RW_i / (DIST_i \cdot KAT_i)}{\sum_{i=1}^8 1 / (DIST_i \cdot KAT_i)}$$

- wobei RWL = Richtungswert der bearbeiteten Zelle
 RW_i = ($i=1 \dots 8$) Richtungswerte der berücksichtigten Zellen in N-, S-, W-, E-, SW-... Richtung
 KAT_i = Kategorie der berücksichtigten Zellen in allen 8 Richtungen (1, 2 oder 3)
 $DIST_i$ = Distanz zu den berücksichtigten Zellen ($Dist. > 0$)

Mit diesem Modell erreichen wir, dass im Bereich zwischen Kantenlinien die Lichtrichtung kontinuierlich gedreht wird. Kantenlinien in der Nähe und solche der ersten Kategorie erhalten nach dieser Formel ein grosses Gewicht. Die Gewichtung könnte verschoben werden, indem man statt der Distanz ($DIST_i$) oder Kategorie (KAT_i) je deren Quadrate oder Quadratwurzeln einsetzen würde.

Gelangt man beim Abtasten in einer Richtung an den Rand des Untersuchungsgebietes, ohne auf eine Kammlinie (aufgefüllte Zelle) zu stossen, so wird die entsprechende Richtung nicht berücksichtigt. Sind für eine ganze Zeile von Flächenelementen die Richtungswerte berechnet, so werden sie auf einen externen Speicher (Magnetband) ausgeschrieben; nach Bearbeitung aller Zeilen ist das Programm abgeschlossen, und die Richtungswerte stehen für die Schräglichtschattierung bereit.

Um die Rechenzeit zu reduzieren, ist in einer neuen Programmversion im ersten Programmschritt eine breitere Umgebung der Kantenlinien (mindestens je zwei Zellen in jeder Richtung) mit den berechneten RW-Werten versehen worden (vgl. Fig. 18).

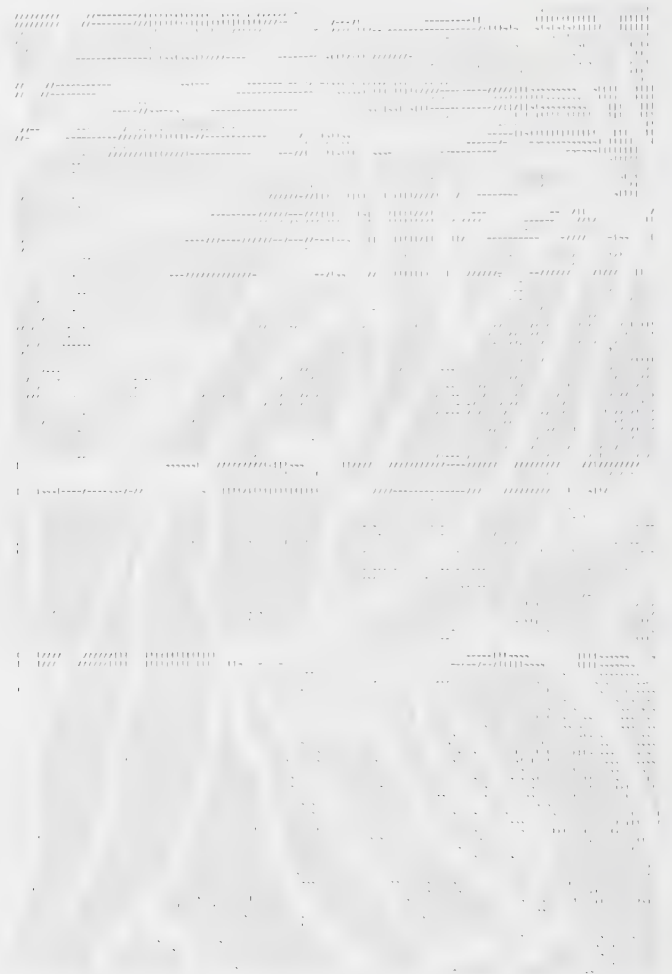


- Stützpunkt
- / Richtungswert

Figur 18

Dadurch wird erstens die Zahl der noch zu bearbeitenden leeren Felder für den 2. Schritt reduziert, und zweitens kann so das Abtasten zur nächsten gefüllten Zelle in Schritten von 2 Zellen (statt Einerschritten) vorgenommen werden. Damit reduziert sich der Aufwand an Computerzeit mindestens auf die Hälfte, ohne dass das Endresultat merklich verschlechtert wird.

Figur 19 veranschaulicht in vereinfachter Weise die Richtungswerte für einen Ausschnitt unseres Untersuchungsgebietes.



Figur 19

Richtungswerte im Bereich der Gerippelinien sind weiss gelassen, aus den umliegenden Kanten berechnete sind durch ein Printerzeichen dargestellt worden. Die gewählten Zeichen symbolisieren den Kreissektor, dem die Richtungswerte angehören.

Zum Schluss sei auf eine Problematik dieses Verfahrens hingewiesen: Wechselt ein Kamm von einer leichten SW-NE zu einer schwachen NW-SE-Richtung, so hat dies zur Folge, dass sich der Richtungswert sprunghaft vom Bereich $-\pi/2$ (-90°) zu $+\pi/2$ ($+90^\circ$) ändert. Graphisch drückt sich das dann später beim Schummerungsprogramm dadurch aus, dass im einen Fall für den gleichen Kamm das Licht nach links, das andere mal nach rechts abgedreht wird. Nun werden im allgemeinen im Gebiet zwischen den Kämmen durch das Abtasten in die acht verschiedenen Richtungen diese brüsken Wertwechsel durch Ausmitten abgeschwächt; in ungünstigen Fällen, in denen kritische Kanten ein grosses Gewicht besitzen (z.B. Kante 1. Kat. am Rand des Untersuchungsgebietes) kann die Lichtdrehung als scharfe Linie sichtbar werden. Auffällig ist dies in Tafel 14.3 zu beobachten; Da im Beispiel nur wenige Kammlinien vorhanden sind, trifft man beim Abtasten in die acht Richtungen sehr häufig auf den Rand, was bedeutet, dass statt der 8 meist weniger Richtungswerte gemittelt werden. Dadurch erhalten kritische Kantenstücke ein relativ grosses Gewicht, und sie können sich räumlich über weite Strecken hin auswirken.

5.42 Interpolation zur Verfeinerung des Höhenkotenrasters

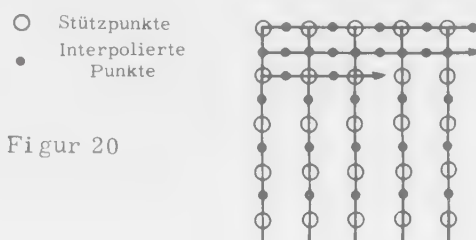
Es soll ein Verfahren gefunden werden, das aus einem grobmaschigen Höhenkotenraster ein feinmaschiges interpoliert, welches die bedeutsamen Charakteristika des Geländes noch enthält.

Wir verwenden dazu ausser dem grobmaschigen digitalen Geländemodell die gespeicherten Kanteninformationen und fordern, dass an Kantenlinien die Umbiegungen schroff, an allen andern Stellen des Reliefs weich sein sollen.

Die Kombination dieser beiden Informationsträger erweist sich als vorteilhaft: Zum einen wird der für die Aufnahme zeitaufwendige Raster grob gehalten; andererseits ist die Lage der Kanten - die sich als eindimensionale Information mit geringem Zeitaufwand aufsammeln lassen - sehr genau registriert. Wir spannen also die darzustellenden Oberflächen mit locker, aber optimal verteilten Höhenkotenpunkten im dreidimensionalen Raum auf, während deren Flächenbegrenzungen durch die Projektion der Kantenlinien genau festgelegt sind. Die Kotenpunkte des Ursprungsrasters bezeichnen wir im folgenden als Stützpunkte (NB: Im Abschnitt 5.41 haben wir auch von Stützpunkten gesprochen: Stützpunkte zur Beschreibung der Kantenlinien; hier also: Rasterpunkte als Stützpunkte für die Interpolation).

Wie aus der Abb. 8.3 auf Tafel 8 hervorgeht, umschliessen die unsystematisch eingetragenen Kantenlinien nur in seltenen Fällen einzelne Flächeneinheiten vollständig. Wäre dies der Fall, so könnte innerhalb dieser Begrenzungslinien eine zweidimensionale Interpolation durchgeführt werden. In Wirklichkeit haben wir aber eine über das ganze Untersuchungsgebiet reichende kontinuierliche Fläche, die intern an bestimmten Stellen scharfe Kanten aufweist.

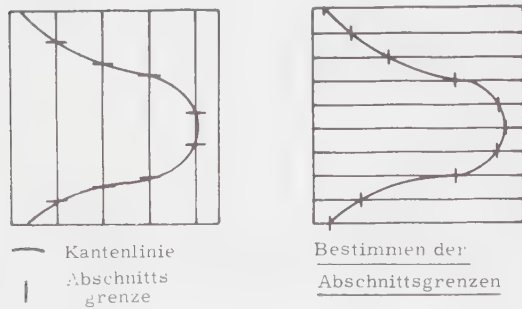
Aus diesem Grunde wurden statt einer zweidimensionalen Interpolation zwei eindimensionale durchgeführt (vgl. Fig. 20). So wird vorerst in allen Kolonnen des bestehenden Rasters interpoliert (vertikal, N-S-Richtung), um anschliessend über sämtliche Zeilen des neuen, engeren Rasters (W-E) einzeln eine Interpolation durchzuführen.



Figur 20

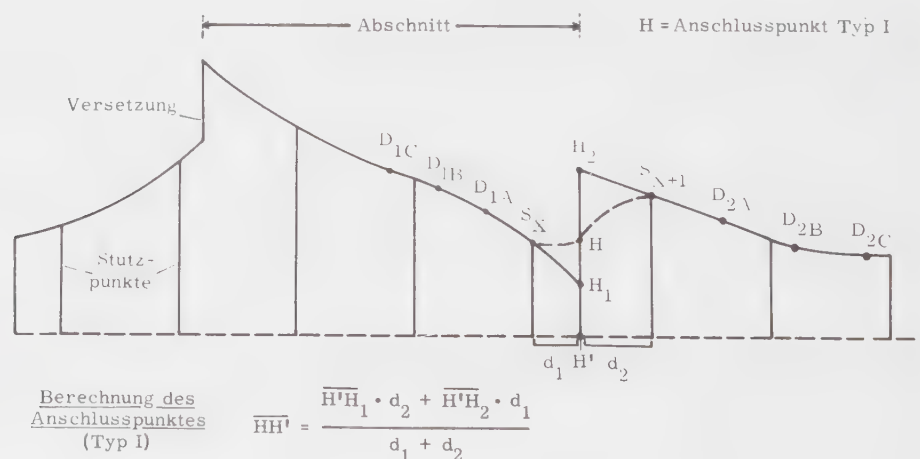
Um das Abrunden von Kämmen und Gräben bei dieser eindimensionalen Interpolation zu vermeiden, wird nicht über eine gesamte Kolonne bzw. Zeile interpoliert, sondern es wird unterbrochen, sobald man auf eine Kantenlinie trifft. Das gefundene Profil ist dadurch an den Kanten scharf gehalten, in Zwischenbereichen aber etwas abgerundet.

Zu Beginn der Interpolation wird mit Hilfe der Kanteninformation für jede Zeile und Kolonne die genaue Lage der Schnittpunkte 'Kanten-Rasterachse' bestimmt (Fig. 21).



Figur 21

Die Interpolation erfolgt dann zeilen- und kolonnenweise je in Teilstücken (= Abschnitte) zwischen zwei solchen Schnittpunkten, und zwar vorerst völlig unabhängig für die einzelnen Abschnitte. Das hat zur Folge, dass innerhalb der Abschnitte der Kurvenverlauf wohl kontinuierlich ist, aber bei Kantenschnittpunkten (= Abschnittsgrenzen) die Profillinie nicht wie gewünscht lediglich eine scharfe Umbiegung erfährt, sondern unter Umständen versetzt wird. Diese Versetzung kann - je nach der Anzahl der zu interpolierenden Zwischenpunkte - bis zu mehreren Längeneinheiten des neuen Rasters ausmachen. Bei der späteren Schattierung sind diese Stellen dann als unmotiviertere Steilstufen sichtbar. Zur Verhinderung solcher Versetzungen wird nach erfolgter Interpolation für jede Abschnittsgrenze ein sog. Anschlusspunkt (Typ I) berechnet. Seine Lage hängt von den beiden versetzten Koten (H_1 , H_2) und der Distanz zu den benachbarten Stützpunkten ab (d_1 , d_2). (Vgl. Formel und Abb. 22).



Figur 22

Anschliessend wird zwischen S_x und H sowie H und S_{x+1} neu interpoliert, und zwar unter Berücksichtigung von je fünf gleichabständigen Punkten, deren Kote bekannt ist:

Interpolation	Benutzte Punkte
$S_x - H$	$D_{1C}, D_{1B}, D_{1A}, S_x, H$
$H - S_{x+1}$	$H, S_{x+1}, D_{2A}, D_{2B}, D_{2C}$

Für alle bisher erwähnten Interpolationen wurde eine Spline-Prozedur ('Latten-Interpolation') für gleichabständige Intervalle verwendet.

Diese ist besonders günstig für längere Kurvenstücke, da eine in ihr enthaltene Grösse bei Zunahme der Zahl der Stützpunkte rasch konvergiert. Diese Spline-Interpolation geht in 2 Schritten vor:

- Berechnung der Tangente an allen Stützpunkten
- Interpolation beliebiger Punkte aus den Koten und Tangenten der beiden benachbarten Stützpunkte.

Der Verlauf der interpolierten Kurve entspricht dem statischen Verhalten einer Latte, die an zwei vorgegebenen Stützpunkten mit der festgelegten Neigung (Tangente) eingespannt ist. (Diese Prozedur wurde von Prof. H. Rutishauser, ETHZ, entwickelt und in der Vorlesung: Numerische Methoden II, gehalten WS 1970/71, besprochen; Ausgabe wird erscheinen bei Birkhäuser, Basel 1974).

Für jedes Teilstück zwischen zwei Kantenschnittpunkten werden grundsätzlich folgende 4 Berechnungen durchgeführt:

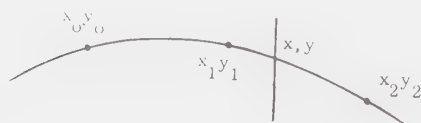
- Interpolation im aktuellen Abschnitt
- Berechnung des Anschlusspunktes am Beginn des aktuellen Abschnittes
- Korrekturinterpolation am Ende des vorangehenden Abschnittes (Rückwärtskorrektur)
- Korrekturinterpolation am Anfang des aktuellen Abschnittes (Vorwärtskorrektur)

Das bisher erläuterte Modell genügt aber für den allgemeinen Fall einer Reliefinterpolation noch nicht. Dies hängt damit zusammen, dass für eine Spline-Interpolation mindestens 4 bekannte Punkte benötigt werden. Wenn nun aber die Kantenlinien zusammenlaufen, so liegen zwischen zwei Kantenschnittpunkten weniger als 4 bekannte Stützpunkte; dasselbe gilt, wenn eine Kante gegen den Rand des Untersuchungsgebietes streicht.

Ausser den Stützpunkten kennen wir in diesen Fällen die genaue Abschnittsbegrenzung sowie auf dieser Grenze ev. eine Höhenkote, die durch Interpolation des vorangehenden Abschnittes berechnet worden ist. Wir benötigen unter Umständen aber noch zusätzliche Informationen über den möglichen Kurvenverlauf. Deshalb führen wir vor der Interpolation einer neuen Zeile bzw. Kolonne eine Spline-Interpolation durch, die keine Rücksicht auf mögliche Kantenlinien nimmt, die also durch das ganze Untersuchungsgebiet durchzieht. Aus ökonomischen Gründen beschränken wir uns dabei allerdings darauf, die Tangentenwerte an den Stützpunkten zu berechnen; Höhenwerte für Zwischenstellen bestimmen wir dann jeweils im Bedarfsfalle. Wir bezeichnen im folgenden die Elemente dieser interpolierten Kurve als 'Splinekoten'.

In den einzelnen Fällen wird nun folgendermassen vorgegangen:

- Teilstücke mit 4 und mehr Stützpunkten: Interpolation nach dem früher beschriebenen Modell.
- Teilstücke mit 3 Stützpunkten: Durch die drei Stützpunkte wird eine Parabel gelegt. Anschlusspunktberechnung und Korrekturen analog wie bei 4 und mehr Stützpunkten.



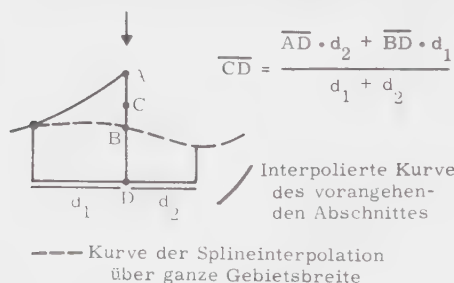
Figur 23

$$y = \frac{(x-x_1)(x-x_2)}{(x_0-x_1)(x_0-x_2)} y_0 + \frac{(x-x_0)(x-x_2)}{(x_1-x_0)(x_1-x_2)} y_1 + \frac{(x-x_0)(x-x_1)}{(x_2-x_0)(x_2-x_1)} y_2 \quad (13)$$

- Teilstücke mit 2 Stützpunkten: Vorerst wird an der Abschnittsgrenze zu Beginn des Teilstückes aus der Kote der vorangegangenen Interpolation (A) und der 'Splinekote' (B) ein Anschlusspunkt (C) bestimmt (Fig. 24).

Berechnung eines Anschlusspunktes Typ II

Figur 24



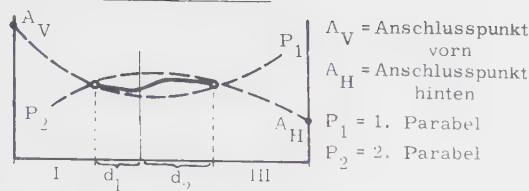
Wir bezeichnen den so ermittelten Anschlusspunkt als Anschlusspunkt Typ II.

Diesen Anschlusspunkt benutzen wir nun als dritten Stützpunkt und legen durch die nun bekannten 3 Punkte eine Parabel. Zu einem späteren Zeitpunkt muss am Ende des Abschnittes noch eine Korrektur durchgeführt werden. Dann sind folgende Grössen bekannt:

- Parabel, die durch Anschlusspunkt(vorn) und 2 Stützpunkte geht
- Anschlusspunkt(hinten)

Wir legen nun durch die beiden Stützpunkte und den Anschlusspunkt(hinten) eine weitere Parabel; aus den beiden Parabeln berechnen wir dann eine Kurve, die folgendermassen definiert ist: (Fig. 25)

Procedur "PARMIT"



Figur 25

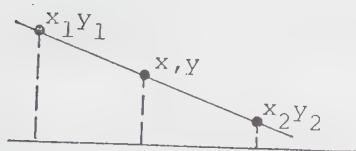
- Kurvenverlauf entspricht der ersten Parabel im Bereich Abschnittsgrenze(vorn)- 1. Stützpunkt (I)
- Kurvenverlauf entspricht der zweiten Parabel im Bereich 2. Stützpunkt - Abschnittsgrenze(hinten) (III)
- Kurvenverlauf entspricht dem gewichteten Mittel beider Parabeln für den Bereich 1. Stützpunkt - 2. Stützpunkt. An einer Stelle x beträgt der interpolierte Wert $H(x)$:

$$H(x) = \frac{P_1(x) \cdot d_2 + P_2(x) \cdot d_1}{d_1 + d_2} \quad (14)$$

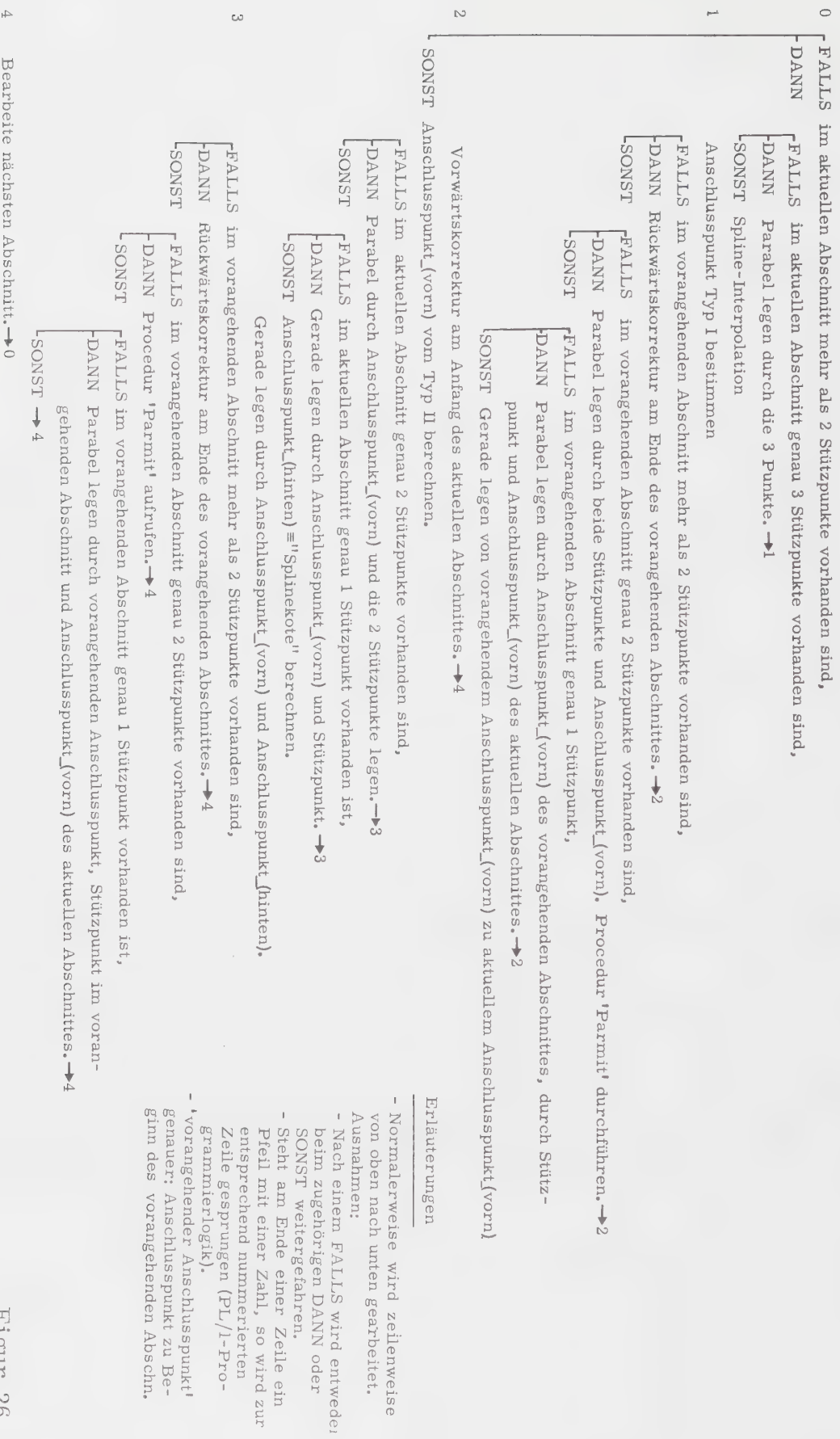
$H(x)$ Gemittelter Funktionswert an der Stelle x
 $P_1(x)$ Wert der Parabel 1 an der Stelle x
 $P_2(x)$ Wert der Parabel 2 an der Stelle x
 d_1, d_2 Distanz zu Stützpunkten

Das Auffinden dieser Kurve, die wir als 'vermittelnde Parabel' bezeichnen möchten, nennen wir vereinfacht Prozedur 'Parmit'. (Die Idee zu diesem Verfahren wurde mir von C. Semini, Inst. für theoret. Physik, Univ. Zürich, mitgeteilt).

- Teilstücke mit 1 Stützpunkt: Vorerst wird ein Anschlusspunkt Typ II für den Abschnittsanfang berechnet, dann durch Anschlusspunkt und Stützpunkt eine Gerade gelegt:



$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + y_1 \quad (15)$$



Figur 26

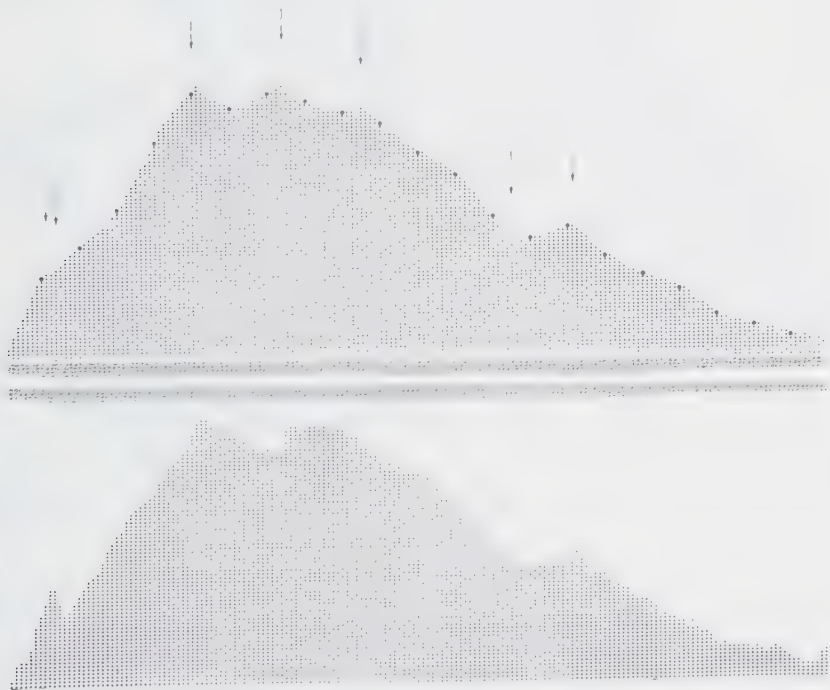
50

Zu einem späteren Zeitpunkt wird am Abschnittsende eine Korrektur nötig sein. Dann liegt also eine Gerade (durch Anschlusspunkt(vorn) und Stützpunkt) sowie ein Anschlusspunkt(hinten) vor. Durch die drei Punkte wird nun eine Parabel gelegt.

- Teilstücke ohne Stützpunkt: Vorerst wird ein Anschlusspunkt Typ II für den Abschnittsanfang berechnet. Mangels weiterer Information bestimmen wir für das Abschnittsende die 'Splinekote' und verbinden die beiden bekannten Werte durch eine Gerade. Eventuell wird später eine Korrektur nötig, da - bedingt durch die Interpolation im nachfolgenden Abschnitt - am Abschnittsende ein Anschlusspunkt berechnet worden ist. In diesem Falle werden Anschlusspunkt(vorn) und Anschlusspunkt(hinten) durch eine Gerade verbunden.

Die Grundzüge der Logik des Interpolationsprogrammes sind in Fig. 26 zusammenfassend dargestellt. Diese Logik mag sehr kompliziert erscheinen. Es sei aber darauf hingewiesen, dass zwar viele mögliche Fälle vorliegen, dass aber bei der Interpolation eines Teilstückes nur je einer dieser Fälle durchlaufen werden muss.

Figur 27 zeigt zweimal das gleiche Profil durch das Untersuchungsgebiet. Das untere gibt den ursprünglichen Datensatz wieder, beim oberen wurde jeder achte Datenpunkt (grosse Punkte) herausgenommen und als Stützpunkt für die Interpolation verwendet. Die Abschnittsgrenzen sind durch Pfeile markiert.



Figur 27

Die vorgestellte Interpolationsprozedur hat folgende Eigenschaften:

- Ueberquert eine Profillinie eine Gerippelinie, so ist sie an dieser Stelle durch eine abrupte Richtungsänderung gekennzeichnet (sofern die Stützpunkte beidseitig dies nicht verhindern).
- Im Bereich zwischen Gerippelinien wird mehr oder weniger abgerundet; das Profil weist hier keine scharfen Umbiegungen auf (ausser sie seien durch Stützpunkte eindeutig bedingt).

- Ist in einem Abschnitt wenig Information vorhanden (Quotient 'Anz. Abschnittsgrenzen/Anz. Stützpunkte' gross), so wird von den 'Splinekoten' Gebrauch gemacht, d.h. von einer Spline-Interpolation, die ohne Rücksicht auf Kantenlinien über das ganze Untersuchungsgebiet verläuft. Im Extremfall liefert dann diese Kurve die Höhenwerte an den Abschnittsgrenzen, die dann ihrerseits durch Geraden miteinander verbunden sind. Das Prinzip: Bruch an Kanten, Kontinuität dazwischen, bleibt somit gewahrt.

Durch die zwei nacheinanderfolgenden Interpolationen in Kolonnen- und Zeilenrichtung treten in ungünstigen Fällen (in der Regel bei Interpolation von 4 und mehr Zwischenpunkten) Schwierigkeiten auf. Diese sind z.T. dadurch bedingt, dass beim zweiten Schritt in nebeneinanderliegenden Zeilen mit unterschiedlichen Verfahren interpoliert worden ist. Nahe benachbarte Rasterpunkte können dann eine zufällig bedingte Höhendifferenz aufweisen, die unter Umständen ihre Horizontaldistanz übertrifft. So entstehen lokal und zusammenhangslos Steilstufen und Brüche im Relief (s. Tafel 16).

Diese Fehler kann man auf folgende 2 Arten beheben:

- 1) Zusätzlich zur Interpolation in Kolonnen- und in Zeilenrichtung werden nachträglich in Kolonnenrichtung gleitende Mittel berechnet. Dadurch gleichen sich die lokalen Ungleichheiten aus. Anschliessend Schattierung des korrigierten Reliefs (Tafel 16.1).
- 2) Schattierung ohne weitere Korrektur; an vereinzelten Stellen des Printeroriginals sind dann auffällige, in Zeilenrichtung angeordnete Unregelmässigkeiten festzustellen. Diese können durch kleine Handretouches beseitigt werden. (Tafel 16.2).

Zum Austesten der Routine wurde vom ursprünglichen Höhenkotenraster nur jeder 4., 16., 64. Rasterpunkt herausgenommen und daraus wieder das Gesamtraster durch Interpolation rekonstruiert. Diese Versuche sind in den Tafeln 11, 15 und 16 festgehalten, die Resultate können durch Vergleich mit den Tafeln 10 und 13 abgeschätzt werden. Durch Berücksichtigung oder Weglassen von einzelnen Kantenlinien kann eine gewisse Detaillierung bzw. Generalisierung erreicht werden (vgl. Tafel 16: 16.1 und 16.2).

Eine andere Versuchsserie ist in der Tafel 14 dargestellt. Hier wurde das ursprüngliche 100-m-Raster verwendet und durch Interpolation die Zahl der Rasterpunkte 4-, 16- oder 64-mal erhöht. Damit gelangen wir mit unseren Beispielen in einen anderen Massstabsbereich: 1 : 100 000 - 1 : 25 000 (NB: Ursprungsdaten wurden durch Auflegen eines 4-mm-Rasters aus einer Karte 1 : 25 000 gewonnen). Im Gegensatz zur ersten Versuchsserie entfallen hier mehr Stützpunktdaten auf eine nicht gebogene, gleichmässig geböschte Talflanke, was die Formen ruhiger erscheinen lässt und unter Umständen noch eine weitergehende Interpolation ermöglicht hätte. Der Betrachter mag aber schroffe Kanten vermissen. Das hängt damit zusammen, dass für die Interpolation dieser Beispiele unsere Gerippelinien-daten nicht verwendet wurden (für die Lichtdrehung bei der Schattierung sind sie aber gebraucht worden). Die Kantenzeichnung ist ursprünglich im Massstab von ca. 1 : 80 000 relativ grosszügig (wenige Stützpunkte) mit einer Abweichung von bis 3 mm angelegt worden (Abweichung also bis 375 m). So überrascht es nicht, dass bei Verwendung dieser Kanten-information wegen dieser Abweichungen 'Sekundärkämme' auf den Abbildungen erschienen sind. Die gespeicherten Kantendaten sind also für grossmaschige Reliefs zu ungenau und deshalb hier weggelassen worden.

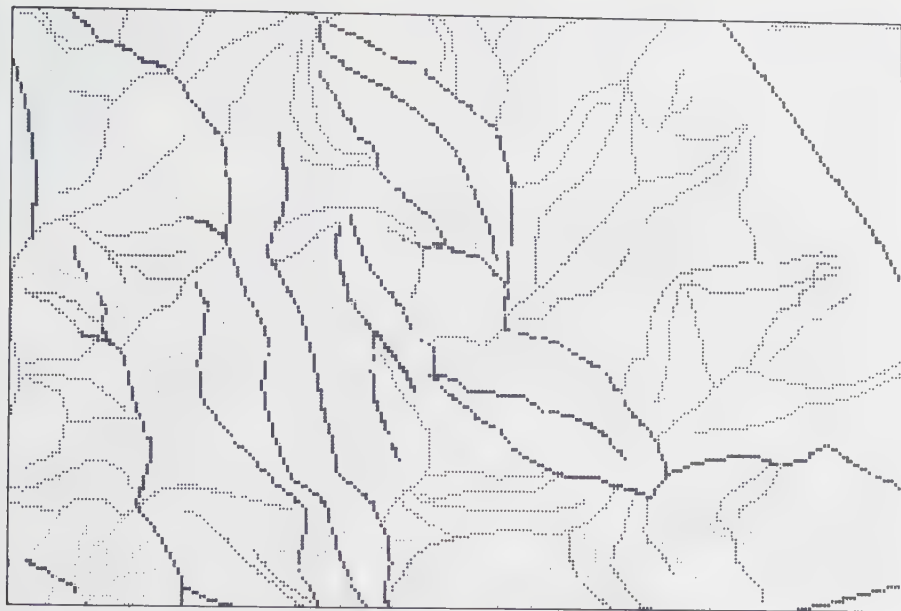
Wird eine Ausdehnung des Reliefbildes über das hier mögliche Mass angestrebt, so empfiehlt sich die Kombination einer Höhenkoten-Interpolation mit einer anschliessenden 'Aufblähung' (s. Tafel 7.1).



8. 1 Höhenkurvendarstellung des Testgebietes mit Hauptlinien des Reliefs 1:200'000. Mit Hilfe der digitalisierten Höhenkoten (100m-Raster) wurden die Isohypsen ausgeplottet; von Hand sind darin dann die Kantenlinien (im Bild nur 1. Kategorie) eingetragen worden. Diese Skizze diente zur Digitalisierung der Kantenlinien.



8. 2. Ausschnitt aus dem Relief I (Grauplatte) der Landeskarte der Schweiz 1:200'000, Blatt 3, Begrenzungskordinaten s. Abb. 9. 1. Reproduziert mit Bewilligung der Eidg. Landestopographie vom 13. 12. 1972.



8. 3 Printoutput der digitalisierten Kantenlinien, differenziert nach der Wichtigkeit in 3 Kategorien.



Ausschnitt aus dem Relief I (Grauplatte) der Landeskarte der Schweiz 1:100'000, Blatt 41 (Col du Pillon);
Begrenzungskordinaten: 110(S) - 134 (N) und 567.5 (W) - 585 (E). Reproduziert mit Bewilligung der Eidg.
Landestopographie vom 13.12. 1972

5.43 Schräglichtschattierung

5.431 Uebersicht über das Programm (vgl. Fig. 28)

Das Programm für die Schräglichtschattierung steht im Zentrum unserer Versuche. Als Grundlage werden der Höhenkotenraster, die Richtungswerte (ev. beide interpoliert) sowie einige Parameter benötigt. Pro Höhenkote soll ein Richtungswert vorhanden sein. Für alle Flächenelemente des bearbeiteten Gebietes liefert diese Prozedur je einen Helligkeitscode; diese Codes werden anschliessend auf dem Printer dargestellt und ergeben das sog. 'Printeroriginal'.

Als Parameter können folgende Grössen eingegeben werden:

- Angaben über das darzustellende Gebiet (Begrenzungen, Maschenweite etc.)
- Ueberhöhungsfaktor (in der Regel 1)
- Azimut und Neigung der Hauptlichtrichtung (HLR, LN; unter Neigung verstehen wir in dieser Arbeit den Winkel zwischen der Horizontalen und einem entspr. Vektor)
- Parameter für die Variation der Lichtneigung (NG)
- 2 Parameter für die Variation der Lichtrichtung (GZW, WNKL)
- 2 Parameter für die Helligkeitskorrekturen (HKONT, KF)

Vorerst werden die Werte des Höhenkotenrasters mit dem Ueberhöhungsfaktor multipliziert und anschliessend die Komponenten des Hauptlichtvektors bestimmt. Dieser Vektor legt die Richtung im Raume fest, aus der das Relief grundsätzlich beleuchtet wird. Im folgenden werden die Flächenelemente zeilen- und kolonnenweise einzeln behandelt. Jedes Flächenelement wird begrenzt durch vier Rasterpunkte, deren Höhenlage bekannt ist. Die beiden diagonalen Verbindungslinien ($\vec{a}$, $\vec{b}$) der 4 Eckpunkte spannen - in einen gemeinsamen Ursprungspunkt verschoben - eine Ebene auf. Wie bei Yoeli werden vorerst die Komponenten der Normalen $\vec{n}$ zu dieser Ebene nach folgenden Formeln berechnet:

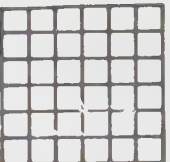
$$n_x = a_y b_z - a_z b_y$$

$$n_y = a_z b_x - a_x b_z$$

$$n_z = a_x b_y - a_y b_x$$

Danach wird geprüft, ob die Lichtneigung grösser ist als die Neigung der Flächennormale. Ist dies der Fall, so wird der Lichtvektor etwas gesenkt, d.h. man lässt dann das Licht etwas flacher einfallen (detailliertes Vorgehen s. Abschnitt 5.432). In einem nächsten Schritt wird die azimutale Lichtrichtung entsprechend dem Richtungswert und zwei Parametern an die Geländeform angepasst, der das Flächenelement angehört. Das Modell, das dieser Lichtdrehung zugrundeliegt, wird im Abschnitt 5.433 behandelt. Nun haben wir sämtliche Komponentender beiden Vektoren $\vec{s}$ (Licht) und $\vec{n}$ (Flächennormale) definitiv festgelegt und nach der Formel

Höhenknoten- raster



Parameter:

- Gebietsausschnitt
- Hauptrichtung
- Lichtvariation
- Helligkeitskorrekturen
- Ueberhöhung



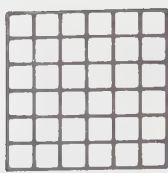
Berechnen
der Komponenten
des Lichtvektors
(Hauptlichtrichtung)



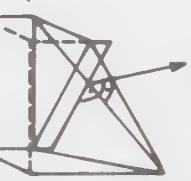
Richtungswerte

SCHRÄGLICHTSCHAATTIERUNG (Vereinfacht)

Evtl.
Ueber-
höhung

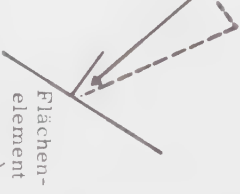


Bearbeitung
eines Flächen-
elementes



Komponenten
der Flächen-
normale be-
rechnen

Licht

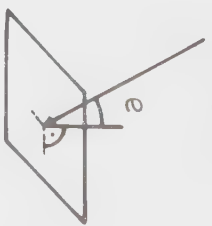


Evtl. Variation
der Lichtneigung
Flächen-
element

Variation der
Lichtrichtung

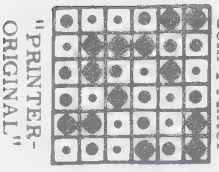


Berechnen des
Weissanteils
(Transparenz)



$$T = \cos e$$

Darstellung mit
dem Printer



Ja

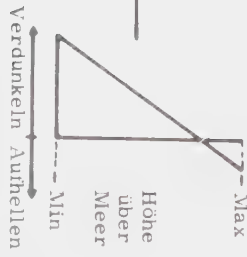
letztes
Flächen-
element

Nein

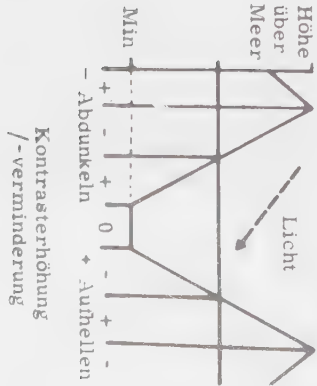
Signatur / Transparenz



Signatur-
codes
setzen



Helligkeitskor-
rektur nach der
Höhenlage



$$\cos e = \frac{\vec{s} \cdot \vec{n}}{|\vec{s}| \cdot |\vec{n}|} = \frac{s_x (a_y b_z - a_z b_y) + s_y (a_z b_x - a_x b_z) + s_z (a_x b_y - a_y b_x)}{\sqrt{(a_y b_z - a_z b_y)^2 + (a_z b_x - a_x b_z)^2 + (a_x b_y - a_y b_x)^2}} \quad (1)$$

berechnen wir den Cosinus des Zwischenwinkels e (wie Yoeli) und setzen den Weissanteil (Transparenz T)

$$T = \cos e.$$

Diese Grösse schwankt zwischen -1 und +1, wobei wir negative Werte gleich 0 setzen. Der Wert T ist allerdings noch nicht definitiv, denn wir führen anschliessend zwei Helligkeitskorrekturen durch. Bei beiden berücksichtigen wir die Höhenlage des aktuellen Flächenelementes, die wir der mittleren Höhe der vier Eckpunkte gleichsetzen. Die erste Korrektur dient dazu, die Helligkeitskontraste abhängig von der Höhenlage zu verändern. Sie geht aus vom Parameter KF (Kontrastfaktor; $KF > 1$: Kontrasterhöhung oben, Kontrastverminderung unten; $KF = 1$: keine Aenderung; $KF < 1$, in Praxis nicht verwendet: Kontrastsenkung oben, -steigerung unten) und berücksichtigt neben der Höhenlage des Flächenelementes auch dessen Transparenzwert T . In der zweiten Korrektur wird generell nach der Tiefe hin abgedunkelt, wobei das Ausmass neben der Höhenlage vom Parameter $HKONT$ (Betrag, um den wir T maximal senken) abhängt. Ist $HKONT$ negativ, so wird gegen die Tiefe hin aufgehellt.

Entsprechend dem korrigierten Helligkeitswert und den früher besprochenen Klassengrenzen (Kap. 4.3) wird nun dem Flächenelement ein Signaturcode zugewiesen.

Damit ist eine erste Rastereinheit bearbeitet, und die nächste wird in Angriff genommen. Nach Beendigung aller Zellen werden alle Signaturcodes auf Lochkarten ausgestanzt, mit denen dann auf der IBM-1443 das Printeroriginal ausgedruckt wird.

Das Schattierungsprogramm ist in der jetzigen Version als Testprogramm aufgebaut, das hintereinander mehrere Durchläufe erlaubt. Zu Beginn eines solchen Durchlaufs wird eine Parameterkarte eingelesen. Diese enthält in rund 12 Parametern genaue Angaben über den Typ der gewünschten Schattierung. Zusätzliche Variationen können durch Verwendung unterschiedlich berechneter Richtungswerte oder verschieden interpolierter Höhenknotenraster erzielt werden. Die geometrischen Figuren (Torus, 'Kegelring') können ebenfalls mit diesem Programm dargestellt werden. - Ist das ausgewählte Beispiel durchgerechnet, wird die nächste Parameterkarte eingelesen; ist keine solche mehr vorhanden, so schliesst das Programm ab. Dieser Programmaufbau ermöglicht es, mit geringem Aufwand eine grosse Zahl von Beispielen durchzurechnen und in diesen Versuchen die optimalen Grössen der einzelnen Parameter abzuschätzen (s. Tafeln 3, 5 und 13 - 16).

5.432 Variation der Lichtneigung

Flächenelemente, deren Normale mit dem Lichtvektor zusammenfallen, erhalten ein Maximum an Licht. Ein Element, das stärker geneigt ist - dessen Normale also flacher liegt - wird also dunkler getönt. Das bedeutet, dass dem Licht zugewandte Steilhänge - entgegen der üblichen Schummerungsmanier - bei der analyt. Schattierung mit einem Grauton versehen werden, der umso dunkler ist, je steiler die Abhänge und je grösser die Neigung des Lichtvektors sind. Um dies zu verhindern, ist in unserem Modell die Möglichkeit eingebaut, bei steilen Flächenelementen den Lichtvektor zu senken.

Der Neigungswinkel des Lichtvektors (LN) ist zu Beginn des Programmlaufes als Parameter eingelesen worden. Aus dieser Grösse wird die Vertikalkomponente

$$|s_z| = \sin(LN) \quad \vec{s} = \text{Lichtvektor} \quad (|\vec{s}| = 1).$$

berechnet. Ist dieser Wert grösser als die Vertikalkomponente der Flächennormalen n_z ($|n_z|$ hier = 1), so wird er korrigiert. Die Korrektur erfolgt unabhängig vom Azimut der beiden Vektoren nach folgender Formel:

$$LN_n = (N_{fl} + NG \cdot LN) / (NG + 1) \quad (16) \quad (\text{vgl. Fig. 29})$$

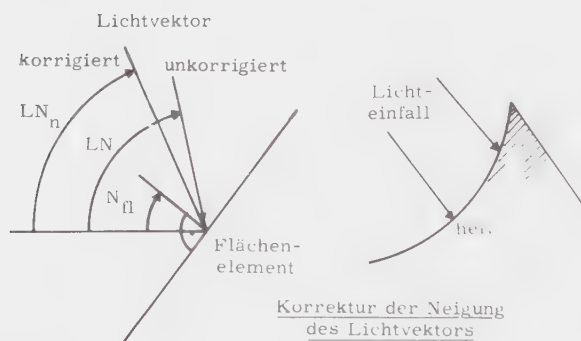
wobei

LN_n = Neigungswinkel des neu zu berechnenden Lichtvektors

N_{fl} = Neigungswinkel der Flächennormalen

LN = Neigungswinkel des unkorrigierten Lichtvektors

NG = Parameter, Gewichtungsfaktor: für $NG < 1$ liegt der neue Vektor näher bei der Flächennormalen, für $NG > 1$ näher beim unkorrigierten Lichtvektor.



Figur 29

Mit dem neuen Neigungswinkel LN_n können nun die Komponenten

$$|s_z| = \sin(LN_n) \quad \text{und} \quad SXY = s_x^2 + s_y^2 = [\cos(LN_n)]^2 \quad (17)$$

berechnet werden (s_x und s_y werden erst nach der Korrektur der azimutalen Lichtrichtung explizit bestimmt).

Diese Korrektur sucht also einen neuen Lichtvektor, der zwischen dem steilen alten Vektor und der flacheren Flächennormalen liegt. Die Differenz zwischen Licht und Flächennormale verringert sich dabei um den Faktor $1/(NG + 1)$, d.h. für $NG = 2$ ist die Winkeldifferenz noch $2/3$, bei $NG = 4$ noch $3/4$ der ursprünglichen.

Indem wir Mittel zwischen den beiden ursprünglichen Neigungen bilden, gewährleisten wir Kontinuität für stetige Neigungsänderungen und verhindern so, dass abrupte Helligkeitsänderungen auftreten, die nicht durch abrupte Umbiegungen im Gelände bedingt sind. Der Einfluss dieser Korrektur wird in den Figuren Tafel 3.1 und 3.3 sichtbar. Beim korrigierten Beispiel (3.3) wird gegen den peripheren und den inneren Rand des Torus hin (d.h. mit wachsender Steilheit der Figur) die Beleuchtung kontinuierlich abgesenkt. Dadurch erhalten

auf der lichtexponierten Seite nur noch die extrem steilen Stellen (Mitte links) einen leichten Schattenton, während dieser im Beispiel 3.1 noch etwas in den flacheren Teil der Figur hineinragt.

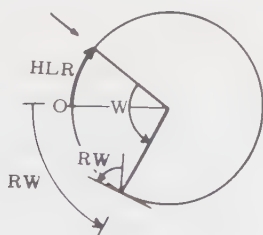
Dieses Modell hat sich für mittlere Werte von LN (Lichtneigung um 45°) bewährt. Bei einem sehr flachen Hauptlichtvektor wird diese Korrektur nur für extrem steile Geländeteile eingeschaltet, und es ist dann auch nicht nötig, die steilen Sonnenhänge aufzuhellen. Hingegen wäre es in diesen Fällen sinnvoll, für steile Schattenpartien den Lichtvektor anzuheben. Diese Möglichkeit ist in unserem Programm nicht eingebaut, ein entsprechender Algorithmus liesse sich aber sicher finden. Für sehr steile Hauptlichtrichtungen wird die besprochene Korrektur schon bei geringer Flächenneigung eingeschaltet und bewirkt für eine grosse Zahl aller Flächenelemente einen etwas abgeflachten Lichteinfall. Die hier besprochene Korrektur der Lichtneigung ist für die Qualitätsverbesserung weniger wichtig als die nun folgenden Prozeduren. Steile, dem Licht zugewandte Gipfelpartien werden z. T. auch durch die Helligkeitskorrekturen (5.434) aufgehellt.

5.433 Variation der azimuthalen Lichtrichtung

Beleuchtet man ein Relief mit parallel einfallendem Licht, so werden Kammlinien quer zur Lichtrichtung hervorgehoben, und parallel laufende werden stumm. Diese Effekte können vermieden werden, wenn man entsprechend der Geländeform das Licht lokal abdrehet. Als wichtigster Steuerungsmechanismus für dieses Abdrehen dienen uns die Richtungswerte, von denen pro Flächenelement je 1 Wert berechnet worden ist. Zusätzlich werden die 3 Parameter HLR (Hauptlichtrichtung), GZW (Grenzwinkel) und WNKL (Max. Abdrehwinkel) benutzt. Als Resultat der Lichtvariation erhält man die azimuthalen Komponenten des Lichtvektors $\vec{s}$ (s_x und s_y), der das Flächenelement beleuchten soll.

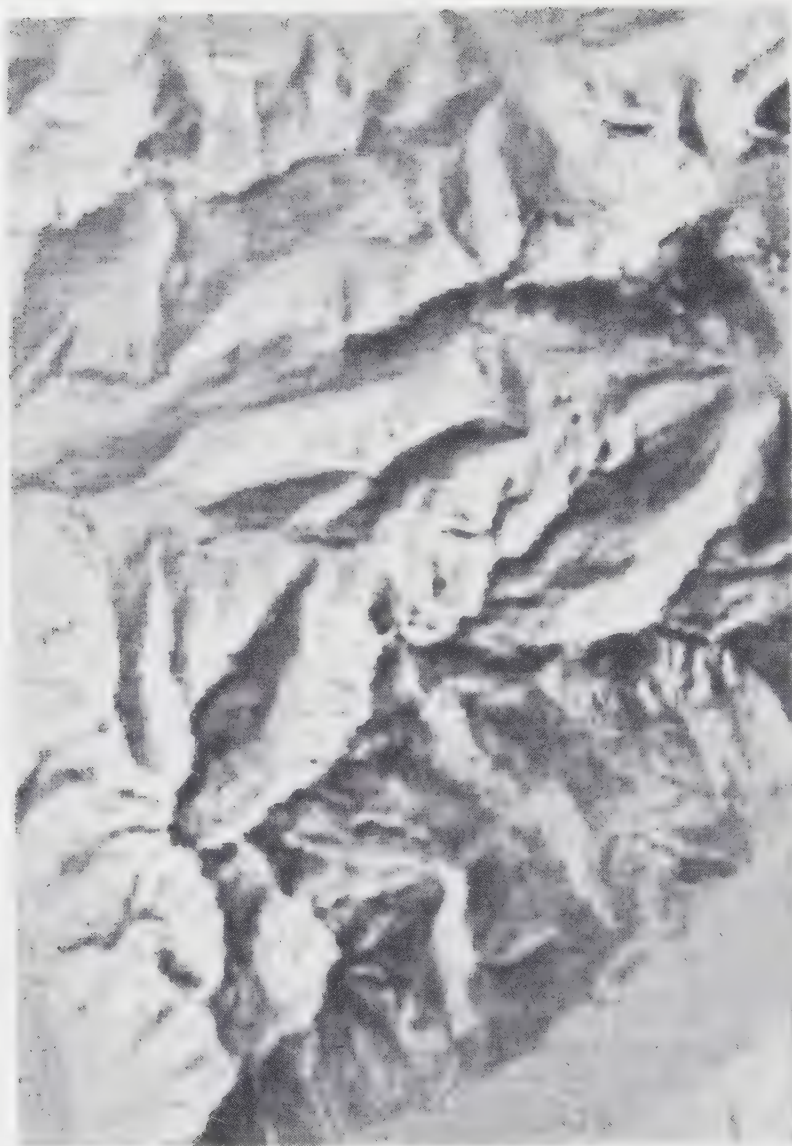
Wie wir früher gesehen haben, liegen die einzelnen Richtungswerte zwischen -90° ($-\pi/2$) und $+90^{\circ}$ ($+\pi/2$), wobei negative Werte für Kantenlinien mit einer NE-, positive mit einer SE-Komponente stehen.

Die Figuren 30 und 31 veranschaulichen den Abdrehmechanismus.



Figur 30

Die dargestellte Kreislinie versinnbildlicht runde Kämme, wie sie in Beispielen auf Tafel 3 zu sehen sind ('Kegelring'). In diesen Figuren arbeiten wir mit Winkelgrössen, wobei der Ursprung des Systems links aussen liege und wir positive Winkel im Gegenuhrzeigersinn auftragen. HLR ist der Winkel zwischen der Westrichtung und dem Azimut der Hauptbeleuchtungsrichtung. Der Richtungswert RW bezeichnet die Stelle im hypothetischen Kreisgebirge, an dem sich unser Flächenelement befindet. Eigentlich macht RW Aussagen über



10.1 Schräglichtschattierung Dt. de Morcles (Schweiz) 1 : 150'000

Ausgangsdaten: 100m-Raster

LN = 45 GZW = 10 HKONT = .1

HLR = NW WNKL = 55 KF = 2.2

KKAT = 1 + 2 VKL = 3.79

Verwischung der Punktstruktur durch Art. Inst. Orell Füssli AG
(nach F. Furrer, s. Anhang).

Abkürzungen zu den Tafeln:

LN	Hauptlichtneigung in Winkelgraden
HLR	Hauptlichtrichtung (Azimut)
GZW	Winkel zwischen Hauptlichtrichtung und Richtung der Kanten, für die das Licht maximal abgedreht werden soll (in Winkelgraden)
WNKL	Maximale azimutale Abdrehung der Lichttrichtung (in Winkelgraden).
HKONT	Anteil der Einheitsfläche, um den der Schwarzanteil maximal erhöht wird (Helligkeitskorrektur in tiefliegenden Gebieten)
KF	Kontrastfaktor; Kontrasterhöhung (oben), Kontrastverringern (in der Tiefe). S. Text
KKAT	Kantenkategorie(n), die bei der Lichtdrehung berücksichtigt worden sind
VKL	Verkleinerungsfaktor



10.1 Schräglightschattierung Dt. de Morcles (Schweiz) 1 : 150'000

Ausgangsdaten: 100m-Raster

LN = 45 GZW = 10 HKONT = .1

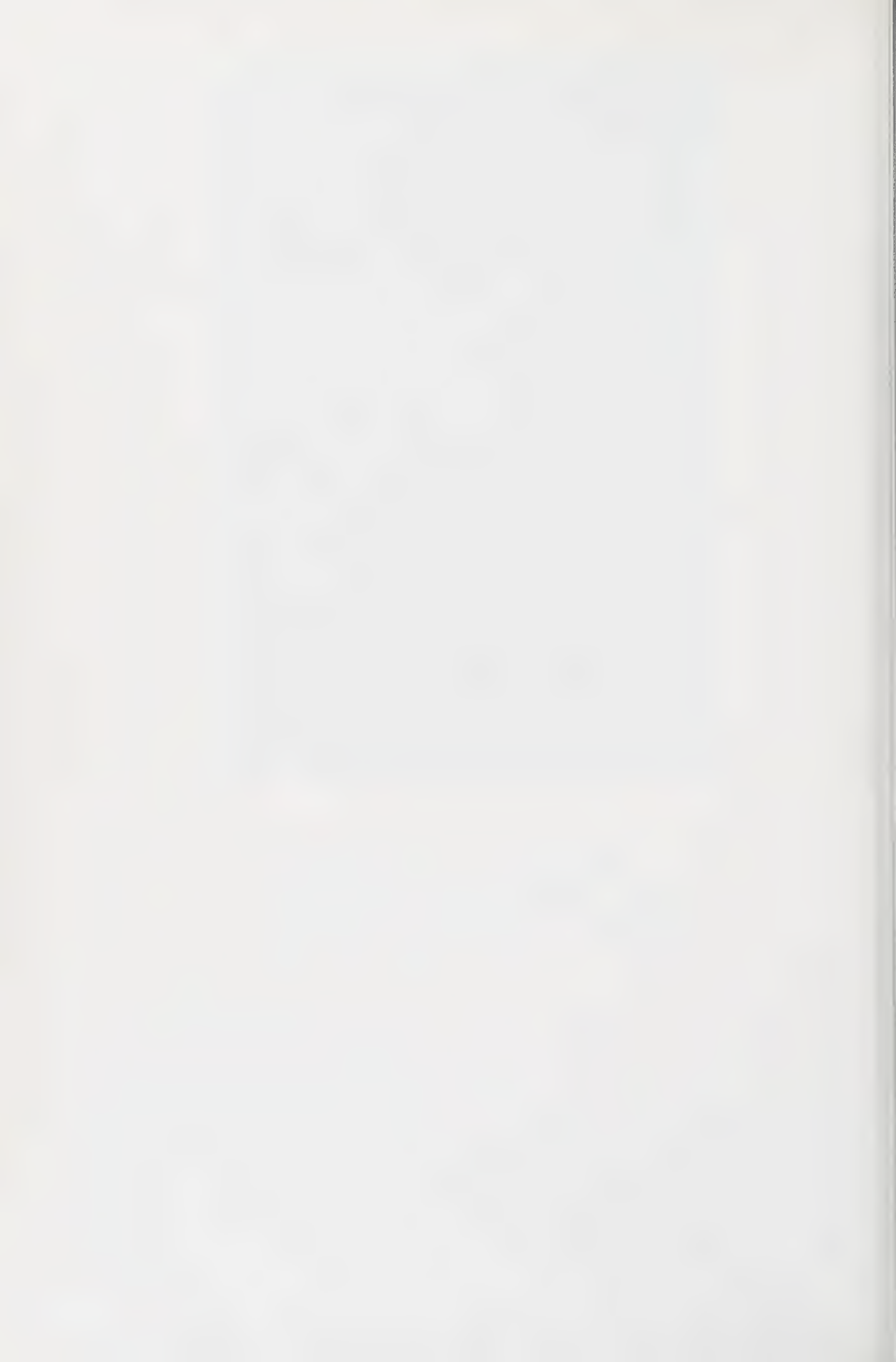
HLR = NW WNKL = 55 KF = 2.2

KKAT = 1 + 2 VKL = 3.79

Verwischung der Punktstruktur durch Art. Inst. Orell Füssli AG
(nach F. Furrer, s. Anhang).

Abkürzungen zu den Tafeln:

LN	Hauptlichtneigung in Winkelgraden
HLR	Hauptlichrichtung (Azimut)
GZW	Winkel zwischen Hauptlichrichtung und Richtung der Kanten, für die das Licht maximal abgedreht werden soll (in Winkelgraden)
WNKL	Maximale azimutale Abdrehung der Lichtrichtung (in Winkelgraden).
HKONT	Anteil der Einheitsfläche, um den der Schwarzanteil maximal erhöht wird (Helligkeitskorrektur in tief- liegenden Gebieten)
KF	Kontrastfaktor; Kontrasterhöhung (oben), Kontrastverringern (in der Tiefe). S. Text
KKAT	Kantenkategorie(n), die bei der Lichtdrehung berücksichtigt worden sind
VKL	Verkleinerungsfaktor



die Richtung der Kantenlinien in der Umgebung des Flächenelementes, aber Kantenrichtung und Standort auf der Figur sind einander direkt zugeordnet. Für unsere Lichtdrehung interessiert uns die Grösse

$$W = RW - HLR, \tag{18}$$

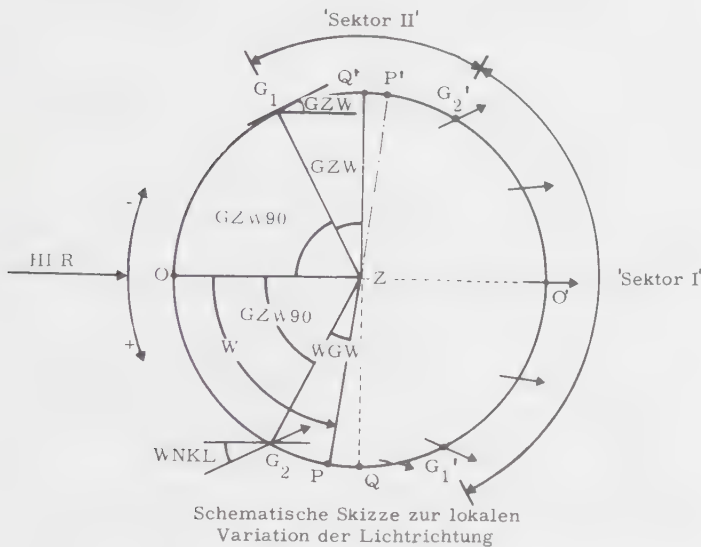
also der Winkel zwischen der Stelle, an der der Lichtvektor den Kamm orthogonal schneidet und dem Standort unseres Flächenelementes.

In der Figur 31, deren Systemnullpunkt mit der Hauptlichtrichtung zusammenfällt, ist W wieder eingetragen, und die Punkte P und P' symbolisieren unser Flächenelement. Wir sorgen nun dafür, dass

$$|W| < 90^{\circ}$$

d.h. falls

$$|W| > 90^{\circ} \text{ setzen wir } W_{\text{neu}} = 180^{\circ} - W_{\text{alt}}$$



Figur 31

Wir wählen also von P und P' denjenigen Punkt aus, der in der linken Diagrammhälfte liegt.

Für die weiteren Berechnungen brauchen wir die beiden Parameter GZW und WNK L. GZW macht eine Aussage über die Richtung derjenigen Kämme, für die das Licht um einen Maximalbetrag von der Hauptlichtrichtung abgedreht werden soll; und zwar bezeichnet GZW den Winkel zwischen dem Streichen dieser Kammlinien und der Hauptlichtrichtung. In unserer Darstellung sind solche Flächenelemente durch die vier Punkte G₁, G₂, G₁' und G₂' charakterisiert; der zugehörige Winkel GZW ist ebenfalls eingetragen. WNK L bezeichnet den Winkel, um den an diesen Stellen das Licht von der Hauptlichtrichtung abgedreht werden soll. GZW soll zwischen 0 und + 45°, WNK L zwischen 0 und + 90° liegen. -

Vorerst wird das Komplement

$$GZW90 = 90^\circ - GZW$$

und der Winkel

$$WGW = |W| - GZW90$$

bestimmt. Ist WGW negativ, so befinden sich die Punkte P und P' in den Sektoren $G_1 - O - G_2$ bzw. $G'_1 - O' - G'_2$, die wir beide als 'Sektor I' bezeichnen wollen, andernfalls in den beiden Restbereichen (Sektor II).

Für $WGW < 0$ setzen wir nun $WGW = 0$.

WGW bezeichnet also den Winkel, um den W 'in den Sektor II hineinreicht'. Wir halten fest, dass WNK_L, GZW, WGW und GZW90 alle positiv (oder 0) sind. Aus diesen Grössen berechnen wir nun den azimuthalen Lichtwinkel WS_{HLR} :

$$WS_{HLR} = \underbrace{\left(1 - \frac{WGW}{GZW}\right)}_A \underbrace{WNKL \frac{W}{GZW90}}_B \quad (19)$$

WS_{HLR} = azimuthaler Winkel zwischen Hauptlichtrichtung und angepasstem Lichtvektor

W = Winkel $\overline{OP}$ oder $\overline{OP'}$ ($|W| < 90^\circ$)

WGW = Winkel, um den 'W in II. Sektor hineinreicht.'

GZW = Winkel zwischen Hauptlichtrichtung und Kämmen mit maximaler Lichtdrehung

GZW90 = Komplement zu GZW

WNKL = Maximaler Abdrehwinkel für lokale Lichtdrehung

A = Faktor zur Steuerung der Rückdrehung des Lichtvektors

WS_{HLR} ist also der Winkel, um den der abgedrehte Lichtvektor an den Stellen P und P' von der Hauptlichtrichtung abweicht. Dieser Winkel unterliegt folgenden Gesetzmässigkeiten:

- WS_{HLR} nimmt das Vorzeichen von W an (da restliche Grössen positiv), d.h. das Licht wird im WS_{HLR} Sinne von W gedreht. Da die Lichtdrehung in der oberen und unteren Diagrammhälfte grundsätzlich dem gleichen Mechanismus unterliegt (mit Ausnahme des Vorzeichens), beschränken wir uns im folgenden auf die Betrachtung des Bereiches $O - Q - O'$.
- Fällt P mit O zusammen, so wird das Licht nicht abgedreht, da $W = 0$ und also $WS_{HLR} = 0$.
- Im Sektor I ist der Ausdruck $A = 1$ (da $WGW = 0$); da zudem WNK_L und GZW90 Konstanten sind, bedeutet dies, dass in diesem Bereich WS_{HLR} proportional zu W ist. Verschieben wir uns also von O nach G_2 , so wird auf dieser Strecke das Licht kontinuierlich abgedreht.
- Beim Punkt G_2 wird der Ausdruck $B = 1$, und da hier auch $A = 1$ ist, wird $WS_{HLR} = WNK_L$. Wie wir dies gefordert haben, weicht also an dieser Stelle der lokale Lichtvektor um den Winkel WNK_L von der Hauptlichtrichtung ab.

- Bei G_2 überschreiten wir die Grenze zwischen den Sektoren I und II. Gegen den Punkt Q hin wächst nun WGW kontinuierlich, und damit verkleinert sich der Ausdruck A von 1 (bei G_2) auf 0 (bei Q). Gleichzeitig wächst zwar B weiter, aber wegen dem Verschwinden von A nimmt WS_{HLR} in der Praxis ständig ab. Dies bedeutet, dass wir gegen das Zentrum des Sektors II hin (Q) den Lichtvektor wieder gegen die Hauptlichtrichtung zurückdrehen.
- Im Bereich der Punkt Q und Q' ist die Kante also stumm ($WS_{HLR} = 0$). Entfernen wir uns aber von diesen Punkten, so wird das Licht in die eine oder andere Richtung relativ rasch abgedreht. Ist GZW klein, so befinden sich die Punkte G_2 und G'_1 nahe bei Q, der Sektor II ist also klein. Das bedeutet, dass innerhalb eines kleinen Bereiches das Licht von der Maximalabdringung in der einen Richtung (bei G_2) in die Gegenrichtung (Maximum bei G'_1) gedreht wird. Durch Verkleinern von GZW können wir die stummen Stellen beliebig einengen. Ist GZW allerdings zu klein, so erfolgt das Abdrehen so abrupt, dass das Umspringen des Lichtvektors dem Auge auffällig sichtbar wird, wie dies auf Abb. 3.4 (Tafel 3) der Fall ist. Für grosse GZW vergrössern sich andererseits die stummen Stellen (Abb. 3.6).

Das rasche Abdrehen im Sektor II kann in seltenen Fällen von Nachteil sein: Pendelt eine Kantenlinie um die Hauptlichtrichtung, so wird das Licht ständig hin und her gedreht. In der Handschummerung würde in diesen speziellen Fällen aus einer konstanten Richtung beleuchtet, um damit die ganze Form besser zu erfassen. Mit unserem Modell können wir aber nur allgemeine Prinzipien vorgeben, Spezialfälle bedürfen einer individuellen Behandlung.

Der Lichtwinkel bezüglich der Westrichtung berechnet sich nun als

$$WS = WS_{HLR} + HLR \quad (20)$$

Mit diesem Winkel WS und der früher berechneten Komponentensumme

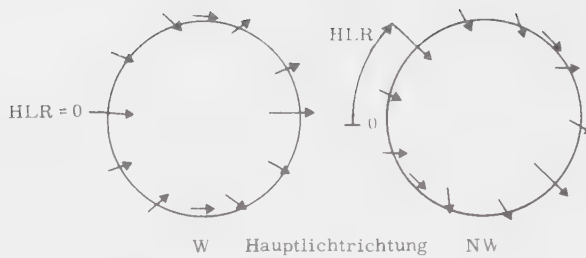
$$SXY = (s_x^2 + s_y^2)$$

lassen sich nun die Komponenten s_x und s_y berechnen.

$$|s_x| = \sqrt{\frac{SXY}{1 + [\tan(WS)]^2}} \quad (21); \quad |s_y| = \sqrt{\frac{SXY}{s_x^2}} \quad (22)$$

Das Vorzeichen von s_x ist gleich dem Vorzeichen von $(90^\circ - |WS|)$, das Vorzeichen von s_y ist gleich dem von $(-WS)$.

In der Figur 32 sind die Beleuchtungsverhältnisse für einzelne Kammstellungen in Form von Pfeilen angedeutet, links bei genereller West-, rechts bei einer NW-Beleuchtung. Man beachte, dass sich die Beleuchtung von west- bis nordwestexponierten Stellen in diesen beiden Beispielen kaum unterscheiden; die grossen Unterschiede sind hingegen in Richtungen senkrecht zur jeweiligen Hauptlichtrichtung zu erkennen.



Figur 32

Wir möchten hier auf den geometrischen Körper von Imhof verweisen (Figur 3). Ein Vergleich mit der Figur 32 (rechts) zeigt, dass im wesentlichen in beiden Modellen für gleiche Kantenrichtungen gleiche lokale Lichtrichtung angenommen wird.

Zusammenfassend seien die Charakteristika unserer lokalen Lichtvariation zusammengestellt:

- Für jedes Flächenelement wird die Lichtrichtung separat bestimmt. Diese richtet sich nach der Richtung der umgebenden Kantenlinien bzw. dem berechneten Richtungswert.
- Es wird eine Hauptlichtrichtung HLR angenommen, von der aus in beiden Richtungen das Licht maximal um einen Betrag WNKL lokal abgedreht wird.
- Die Abdrehung wird stetig vorgenommen, d. h. an kontinuierlich sich drehenden Kanten wird das Licht kontinuierlich abgedreht.
- Für Kantenlinien, die parallel oder senkrecht zur Lichtrichtung streichen, wird die Hauptlichtrichtung beibehalten. Für alle dazwischenliegenden Richtungen wird abgedreht, mit einem Maximum für Kanten, die mit der Hauptlichtrichtung den Winkel GZW bilden.
- Die Größen HLR, WNKL und GZW können als Parameter frei gewählt werden.

5.434 Helligkeitskorrekturen

Nachdem wir anhand des Winkels zwischen Flächennormale und angepasster Lichtrichtung den Transparenzwert T (Helligkeit) des Flächenelementes berechnet haben, soll zur Erzielung eines luftperspektivischen Effektes dieser Wert T modifiziert werden. 'Luftperspektive' erreichen wir nach Imhof, indem wir den Kontrast in topographisch hohen Lager verstärken, in tiefen Gebieten abschwächen.

In Form einer weiteren Korrektur soll das Relief entsprechend der Höhenlage generell aufgehellt oder abgedunkelt werden können. Folglich können horizontale Flächen auf unterschiedlichem Niveau verschieden hell dargestellt werden. Für diese Helligkeitsanpassungen verwenden wir 2 kleine Prozeduren, die je durch einen Parameter gesteuert werden können. Abhängig von der Höhenlage des Flächenelementes und dem berechneten Wert T wird zum Schluss der

endgültige Transparentwert T_{neu} des Flächenelementes geliefert, der dann graphisch dargestellt wird. Beide Korrekturen sollen voneinander unabhängig sein. Vorerst sind drei Hilfsgrössen zu berechnen:

$$z_{fl} = \frac{z_1 + z_2 + z_3 + z_4}{4}$$

z_{fl} = mittlere Höhe des Flächenelementes
 z_1, z_2, z_3, z_4 = Koten der 4 Eckpunkte des Flächenelementes

$$U_{em} = \frac{z_{fl} - \frac{z_{max} + z_{min}}{2}}{\frac{z_{max} - z_{min}}{2}}$$

U_{em} = Standardisiertes Mass für die Höhenlage des Flächenelementes innerhalb des Untersuchungsgebietes
 $U_{em} = -1$ Flächenelement liegt auf minimaler Höhe
 $U_{em} = 0$ Flächenelement liegt auf mittlerer Höhe
 $U_{em} = 1$ Flächenelement auf höchstem Punkt des Untersuchungsgebietes

z_{max} = Grösster Kotenwert des ganzen Gebietes
 z_{min} = Kleinster Kotenwert des ganzen Gebietes

$$H_{em} = T - T_{Ebene}$$

T_{Ebene} Ebenenton (Transparenz)
 T Berechneter Transparenzwert ($T = \cos e$)

H_{em} = Mass für rel. Helligkeit des Flächenelementes (vor Korrekturen) bezüglich Ebenenton
 $H_{em} > 0$ heller als Ebenenton
 $H_{em} < 0$ dunkler als Ebenenton

U_{em} sagt aus, ob sich unser Flächenelement über oder unter der mittleren Höhenlage befindet, ob wir also den Kontrast verstärken oder abschwächen sollen. Die Grösse H_{em} gibt an, in welchem Ausmass und in welchem Sinne sich das Flächenelement vom Ebenenton unterscheidet.

Für die Kontrastveränderung, - sie ist anhand der Figur 33 illustriert - gilt die Formel:

$$T_1 = Hem \cdot e^{(U_{em} \cdot \ln KF)} + T_{Ebene}$$

(23)

T_1 = Transparenz des Flächenelementes nach der Korrektur
 KF Kontrastfaktor (soll positiv sein)

KF > 1: Kontrasterhöhung oben
 KF < 1: Kontrasterhöhung unten



11.1 Schräglichtschattierung Dt. de Morcles (Schweiz) 1 : 150'000
 Ausgangsdaten 200m-Raster, Interpolation zu einem 100m-Raster.

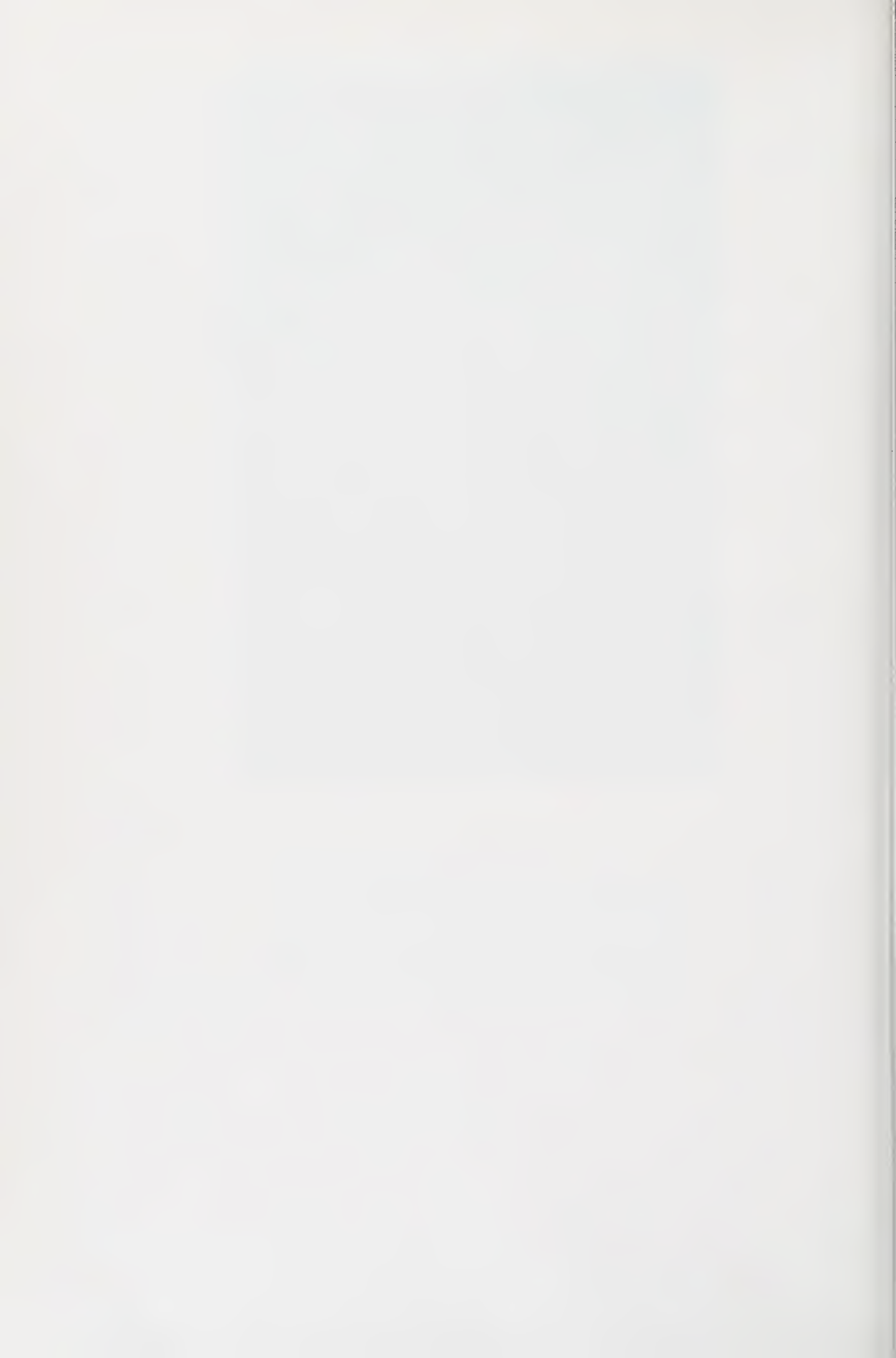
LN = 45	GZW = 10	HKONT = .1
HLR = W	WNKL = 55	KF = 2.2
KKAT = 1 + 2		VKL = 3.79
(Abkürzungen s. Tafel 10)		



11.1 Schräglightschattierung Dt. de Morcles (Schweiz) 1 : 150'000
 Ausgangsdaten 200m-Raster, Interpolation zu einem 100m-Raster.

LN = 45	GZW = 10	HKONT = .1
HLR = W	WNKL = 55	KF = 2.2
KKAT = 1 + 2		VKL = 3.79

(Abkürzungen s. Tafel 10)

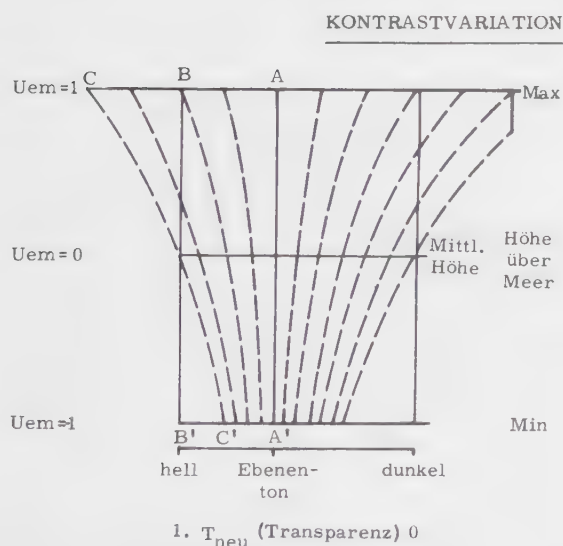


T_1 steht für die Transparenz des Flächenelementes nach der ersten Korrektur. Das in der Formel (23) ausgedrückte Modell hat folgende Eigenschaften:

- Auf der mittleren Höhe des Reliefs wird der Kontrast nicht verändert. In diesen Fällen ist $U_{em} = 0$ und folglich der Exponentialausdruck gleich 1, also

$$T_1 = H_{em} + T_{Ebene} = T$$

- Elemente, deren Transparenz gleich dem Ebenenton ist, werden nicht verändert. Das drückt sich aus durch $H_{em} = 0$ und $T_1 = T_{Ebene}$.
- Für Flächenelemente über der mittleren Höhe wird der Kontrast erhöht, falls $K_F > 1$; U_{em} und $\ln K_F$ sind dann beide positiv und der Exponentialausdruck ist folglich grösser als 1, d.h. die Transparenzdifferenz zum Mittelton wird vergrößert. In Gebieten unter der mittleren Höhe hingegen wird (mit $K_F < 1$) die Helligkeit eines Flächenelementes gegen den Ebenenton hin verschoben.



Figur 33

Die Figur 33 zeigt auf der Abszisse die Transparenzen, in der Vertikalen die Meereshöhe. Mit der unkorrigierten Transparenz T gehen wir auf der 'Mittleren Höhe' ins Diagramm und verschieben uns entlang der gestrichelten Kurven bis auf die wirkliche Meereshöhe. Hier können wir nun den neuen Helligkeitswert T_{neu} auf der Abszisse ablesen.

Der Kontrastfaktor KF entspricht den beiden Längenverhältnissen $\overline{AC}/\overline{AB}$ und $\overline{A'B'}/\overline{A'C'}$. Im Diagramm wird sichtbar, dass wir über der mittleren Höhe das Grauspektrum dehnen, und dass wir es unterhalb stauchen. Die Dehnung im oberen Teil bewirkt, dass wir unter Umständen Transparenzwerte >1 bzw. <0 erhalten. In diesen Fällen setzen wir $T_1 = 1$ bzw. $T_1 = 0$.

Nachdem die Kontrastkorrektur durchgeführt ist, wird nach den Formeln

$$HKOR = \frac{HKONT \cdot (U_{em} - 1)}{2} \quad (24)$$

HKONT Transparenzbetrag, um den maximal verdunkelt werden soll
(bzw. aufgehellt)

HKOR Transparenzbetrag, um den das Flächenelement verdunkelt werden soll (2. Helligkeitskorrektur)

und

$$T_{neu} = T_1 + HKOR$$

T_{neu} Endgültiger Helligkeitswert (Transparenz)

T_1 Helligkeitswert nach der ersten Korrektur

$$T_{neu} = \begin{cases} 0 & \text{für } T_{neu} < 0 \\ T_{neu} & \text{für } 0 < T_{neu} < 1 \\ 1 & \text{für } T_{neu} > 1 \end{cases}$$

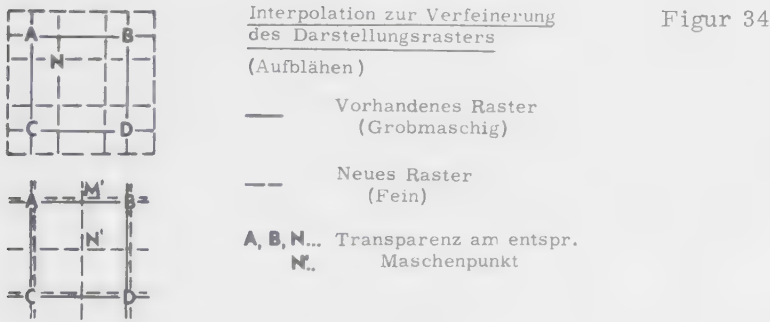
die gewünschte Verdunkelung ($HKONT > 0$) bzw. Aufhellung ($HKONT < 0$) vorgenommen, die proportional der Höhendifferenz zwischen dem höchsten Punkt des Reliefs und dem betreffenden Flächenelement ist.

T_{neu} steht für den endgültigen Transparenzwert des Flächenelementes, und dieser wird dann graphisch dargestellt. Der Effekt dieser Korrekturen ist auf den Tafeln 3 und 5 gezeigt. Die geometrischen Figuren 3.7 und 3.8 sind mit $HKONT = 0.1$, also einer Vergrößerung der Signaturfläche um max. 10 % der Flächeneinheit berechnet worden. KF ist bei diesen Beispielen 1.6. Bei Figur 3.9 ist $KF = 2.5$ und somit die Kontraständerung sehr gross; hingegen ist dieses Beispiel nicht abgedunkelt ($HKONT = 0$). Die Verbesserung des Reliefeindrucks kommt vor allem beim Vergleich von Abb. 5.4 und 5.5 auf Tafel 5 zum Ausdruck. Das erste Beispiel ist nicht korrigiert ($HKONT = 0$, $KF = 1$), für das zweite wurden $HKONT = 0.1$ und $KF = 1.5$ gesetzt.

5. 44 Interpolation zur Verfeinerung des Darstellungsrasters ('Aufblähen' von Daten)

Im Abschnitt 5. 42 stellten wir ein Verfahren zur Verfeinerung von Höhenkotenrastern vor. Haben wir dort vor dem Schattierungsvorgang Höhenwerte interpoliert, so wollen wir in diesem Abschnitt nach Berechnung der Helligkeitswerte die Maschenweite des Rasters verändern. Wir benutzen dazu die Transparenzwerte der einzelnen Rasterpunkte und versuchen, daraus Helligkeitsgrößen für Punkte eines feineren Rasters zu interpolieren. Dieses engmaschigere Gitter von Transparenzen stellen wir wieder mit unseren Printersignaturen dar. Da diese Zeichen in ihren Dimensionen konstant sind, erhalten wir grössere Printeroriginale als vor der Verfeinerung des Rasters. Aus diesem Grunde - und um dieses Verfahren und die Höheninterpolation auseinanderzuhalten - sprechen wir vom 'Aufblähen' der Abbildungsdaten. Dieser Begriff mag irreführend sein, wenn man nicht die Printeroriginale, sondern photographische Verkleinerungen vor sich hat. Dann ist der 'Aufblähvorgang' lediglich in Form einer Rasterverfeinerung zu erkennen. Der Begriff 'Aufblähen' untersteicht aber die Tatsache, dass wir - im Gegensatz zur Höheninterpolation - die in der Darstellung enthaltene Information nicht vermehren, sondern nur die äusseren Masse bzw. die Zahl der Rasterpunkte vergrössern.

In unseren Beispielen haben wir nur Verfahren ausgetestet, die die Maschenweite der Darstellungen jeweils um eine Faktor 2 verdichten.



Die ausgezogenen Linien der Figur 34 zeigen den grobmaschigen Raster, für dessen Maschenpunkte (A, B, C, D) je ein Transparenzwert bekannt ist. Für alle Eckpunkte des gestrichelten Rasters sollen die Helligkeitswerte berechnet werden.

Im oberen Beispiel ist der neue Raster gegenüber dem alten versetzt, und es lässt sich die Transparenz T_N eines neuen Maschenpunktes N wie folgt berechnen:

$$T_N = T_A \cdot g_1 + T_B \cdot g_2 + T_C \cdot g_2 + T_D \cdot g_3 \tag{25}$$

wobei

T_i = Transparenz am Punkt i
 g_1, g_2, g_3 Gewichte ($g_1 + 2g_2 + g_3 = 1$)

Im Randbereich des Untersuchungsgebietes sind nur noch zwei nächste Nachbarn vorhanden und es gilt:

$$T_{NR} = T_{AR} \cdot g_{R1} + T_{BR} \cdot g_{R2} \quad (26)$$

T_{iR} Transparenz des randnahen Punktes i
 g_{R1}, g_{R2} Gewichte für randnahe Gebiete

Es ist nun naheliegend, die Gewichte umgekehrt proportional zur Distanz zu den entsprechenden Rasterpunkten zu wählen, also

$$g_1 = 0.45, \quad g_2 = 0.2, \quad g_3 = 0.15; \quad g_{R1} = 0.69, \quad g_{R2} = 0.31$$

Mit diesen Gewichten ist die Figur 5.8 (Tafel 5) zur Abb. 6.1 (Tafel 6) 'aufgebläht' worden.

Es ist nun möglich, die Gewichte beliebig zu wählen, und mit dem Setzen der Grössen g_i können wir den Charakter der Interpolation beeinflussen. Die Kombination $g_1 = 1, g_2 = g_3 = 0$ bedeutet zum Beispiel, dass zur Berechnung der Helligkeit eines neuen Rasterpunktes nur dessen nächster Nachbar von Bedeutung ist, oder anders ausgedrückt, den vier neuen Rasterpunkten, die einen alten umgeben, wird dessen Transparenz zugeschrieben. Es entstehen also homogene Viererblöcke, die dann u.U. abrupt an Blöcke anderer Transparenzen grenzen. Wegen dieser scharfen Grenzen haben wir Interpolationen mit dieser extremen Gewichtsverteilung als 'hart' bezeichnet (Kontrast erhöht). Demgegenüber ergäben Gewichte $g_1 = g_2 = g_3 = 0.25$ 'weiche' Abbildungen, in denen sich die Transparenz auf kleinem Raum nur sehr wenig ändert. Diese Kontrastverminderung können wir noch weitertreiben, indem wir die Helligkeit weiter entfernter Nachbarn ebenfalls miteinbeziehen. Zwischen extrem 'weichen' und 'harten' Interpolationen sind dann verschiedenste Zwischenvarianten möglich, unter Umständen auch solche, die z.B. geographische Länge und Breite unterschiedlich behandeln.

Die Kontrastunterschiede ('hart-weich') werden anhand der drei Abbildungen auf der Tafel 6 demonstriert. Beim 'harten' Beispiel (6.3) sind die erwähnten Viererblöcke auffällig sichtbar, während beim 'weichen' das Phänomen einer Unschärfe auftritt. Tatsächlich beruht das Unschärfstellen eines Projektors auf dem gleichen Prinzip, nämlich darauf, das Licht benachbarter Lichtquellen zu durchmischen. Bei geeigneter Wahl der Gewichte entstehen Abbildungen, bei denen - nach photographischer Reduktion - sowohl abrupte Uebergänge, wie auch die Unschärfe nicht mehr störend wirken. Es wurde auch versucht, dieses 'Aufblähen' zweimal hintereinander durchzuführen: Es wurden also pro Rasterpunkt vorerst 4 und dann daraus 16 neue Rasterpunkte gewonnen. Dabei erwies es sich als vorteilhaft, im ersten Schritt 'mittelhart', im zweiten dann 'hart' zu interpolieren (Tafel 7, Abb. 7.2 und 7.3), und zwar aus folgenden Gründen:

- Um Unschärfe zu vermeiden, soll möglichst kontrastreich ('hart') gearbeitet werden.
- Im ersten Schritt soll zu starker Kontrast vermieden werden, da die entstehenden Viererblöcke durch den zweiten Vorgang zu 16er-Blöcken vergrössert und so für das Auge sichtbar werden.
- 'Hartes' Vergrössern allein im zweiten Schritt führt zwar zu Viererblöcken, diese sind aber nach der photographischen Verkleinerung für das Auge kaum sichtbar.

Andere Möglichkeiten ergeben sich, wenn man den engen Raster gegenüber dem groben nicht verschiebt, die alten Punkte also auch als Bestandteil des neuen Rasters nimmt, wie dies aus der Figur 34 unten hervorgeht. T_A , T_B , T_C und T_D sind dann also bekannt und für $T_{N'}$ und $T_{M'}$ gilt dann:

$$T_{N'} = \frac{T_A + T_B + T_C + T_D}{4} \quad (27)$$

$$T_{M'} = \frac{T_A + T_B}{2} \quad (28)$$

Bei diesem Verfahren handelt es sich um den Spezialfall einer linearen Interpolation zwischen den Transparenzwerten des bekannten Rasters. Man kann sich im Bereiche einer Rastereinheit des groben Rasters ein beliebig feines Netz von Maschenpunkten vorstellen. Die Transparenz dieser Maschenpunkte lässt sich dann durch lineare Interpolation aus der Transparenz der Eckpunkte berechnen. Versuche dazu haben wir keine durchgeführt.

5.45 Erstellen von farbgetretennten Printeroriginalen mit gedrehtem Raster

In der Praxis wird das Relief nur in seltenen Fällen alleiniger Bestandteil einer kartographischen Darstellung sein; vielmehr wird es mit andern Kartenelementen kombiniert, und erst so entsteht eine vollwertige topographische Karte. Damit das Zusammenspiel verschiedener Elemente gewährleistet ist, sind sie harmonisch aufeinander abzustimmen; so ist auch das Relief den Erfordernissen der Karte als Ganze anzupassen. In einem Abschnitt über das 'Zusammenspiel der Elemente' bespricht Imhof (Imhof 1965, S. 363 - 384) den Aufbau seiner 'schatten- und farbenplastischen Karten'. Um naturnahe, impressionistische Effekte zu erzielen, soll das Relief aus mehreren Druckplatten aufgebaut werden (S. 380):

- a) Blaugrau, mittelstark, als reichmodellierter Hauptton der Reliefschatten, exklusive Seen (Relief I)
- b) Grauviolett, mittelstark, als zusätzlicher Reliefschattenton (Relief II), exklusive Seen
- c) Gelb für Boden- und Lichttöne, exklusive Seen und Gletscher

Das Relief I entspricht inhaltlich dem Schummerungsoriginal. Die anderen Platten werden mit Hilfe von Masken reproduktionstechnisch daraus abgeleitet, wobei als zusätzliche Informationen Isohypsen und die Seeflächen benötigt werden. Das Grauviolett wird aus drucktechnischen Gründen beigelegt, um die Schattenpartien zu unterstreichen; das Gelb soll den Lichthängen eine warme Leuchtkraft geben. Um dem Relief noch weitere Intensität zu verleihen, werden zu den genannten unter Umständen noch drei weitere Platten zugefügt:

- d) Hellblau, für die hypsometrische Abstufung und zur Unterstützung der Schatten, ferner für die Seeflächen
- e) Rosa, äusserst hell, für Fels und für Höhenregionen, exklusive Seen und Gletscher
- f) Ev. Violett als weiterer zusätzlicher Reliefschattenton

Wir möchten nun in diesem Abschnitt zeigen, dass wir statt auf reproduktionstechnischem Wege rechnerisch analoge Druckplatten gewinnen können. Es geht uns dabei vorerst darum, die prinzipiellen Möglichkeiten aufzuzeigen, ohne gleichzeitig optimale Resultate erreichen zu wollen. Im speziellen beschränken wir uns auf die Kombination von Relief- (helldunkel)



12.1 Schräglightschattierung Dt. de Morcles (Schweiz) NW-Ecke, 1:75'000.
 Ausgangsdaten 50-m-Raster.
 LN=45 GZW=10 HKONT= .1
 HLR=W WNKL=55 KF=2.2
 KKAT=1+2+3 VKL=1.379

Verwischung der Punktstruktur durch Art. Inst. Orell Füssli AG (nach
 F. Furrer, s. Anhang).
 Abkürzungen s. Tafel 10.



12.1 Schräglightschattierung Dt. de Morcles (Schweiz) NW-Ecke, 1:75'000.

Ausgangsdaten 50-m-Raster.

LN=45 GZW=10 HKONT= .1

HLR=W WNKL=55 KF=2.2

KKAT=1+2+3 VKL=1.379

Verwischung der Punktstruktur durch Art. Inst. Orell Füssli AG (nach F. Furrer, s. Anhang).

Abkürzungen s. Tafel 10.

und hypsometrischer Information. Es ist aber durchaus möglich, für einzelne Druckplatten Informationen von weiteren Kartenelementen (z.B. Seeflächen, Gletscher, Nutzung etc.) mit-zuberücksichtigen.

Wir gehen davon aus, dass wir

- rasterbezogene Höheninformation (1 Höhenkote für jede Rastereinheit)
- rasterbezogene Schattierungsinformation (1 Transparenzwert für jede Rastereinheit: Relief I, Endprodukt der Schräglichtschattierung)

besitzen. Wir können nun die beiden Raster aufeinanderlegen und durch elementweises Verknüpfen beider Datensätze unsere Platten ableiten. Zur Erläuterung wollen wir den Aufbau der Gelbplatte der Tafel 18 kurz beschreiben. Diese enthält einerseits den 'Sonnenton', andererseits auch hypsometrisches Gelb. Der Sonnton entspricht im wesentlichen dem Negativbild des Relief I, seine Information ist also im Relief I implizit enthalten. Wollen wir ihn darstellen, so weisen wir jeder Rastereinheit eine Signatur (Code) zu, die umso grösser ist, je grösser die Transparenz des Flächenelementes ist; anschliessend drucken wir die Codes auf dem Printer aus. Fügen wir beim Printerdruck ein gelbes Durchschlags-papier ein, so haben wir die Sonntonplatte direkt vor uns (gelbes Printeroriginal); wir können aber die neu berechneten Signaturen auch in schwarz auf dem Printer ausdrucken, dieses Printeroriginal reproduzieren und gelb andrucken.

Für den Sonnton der Tafel 18 ist folgende Signaturzuordnung verwendet worden:

	weiss									schwarz	
Transparenz des	1	.98	.95	.88	.80	.73	.65	.57	.5	.42	
Flächenelementes											
Entspr. Signatur-											
nummer (Relief I)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9 ... 14	
Signatur	4	3	2	2	1	1	0	0	0	0	0
Sonnenton											

In diesem Beispiel haben wir also den Flächenelementen, die dem Licht optimal ausgesetzt sind, eine Signatur mit mittlerer Flächenbedeckung zugewiesen (Signatur 4), während Gebiete im Schatten oder Halbschatten (Transparenz unter 0.65) kein Gelb bekommen (Signatur 0).

Wir drücken diese Zuweisung durch die Formel

$$\text{Sig}_{x,y} = f(T_{x,y}) \tag{29}$$

aus, womit wir sagen wollen, dass die Signatur des Flächenelementes mit den Koordinaten x und y abhängig ist von der Transparenz des entsprechenden Flächenelementes. Die Funktion f () drückt sich durch eine Zuweistabell aus, wie sie oben gezeigt ist.

Ausser diesem Sonnton soll nun die Gelbplatte auch einen Hypsometrieton enthalten, den Imhof als 'Bodenton' bezeichnet; also ein Gelb, dessen Intensität nicht von der Schattierung, sondern von der Höhenlage abhängt, und das dann zusammen mit dem hypsometrischen Blau das Grün-blau der Niederungen ergibt.

Für die Zuweisung der hypsometrisch bedingten Farbtöne, kann wiederum eine Tabelle erstellt werden:

Höhe ü. M.	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	
Signatur für hypsometri- sches Gelb	2	2	3	3	2	1	0	0	0	
Signatur für hypsometri- sches Blau	4	4	3	2	1	0	0	0	0	

(Die Zuordnung von Transparenzwerten und Signaturen ist aus der vorangehenden Tabelle ersichtlich).

Die hier genannten Zahlen geben die Verhältnisse beim Andruck der Tafel 18 wieder. Die Wiedergabe der hypsometrischen Farben durch Signaturen lässt sich allgemein durch die Formel

$$\text{Sig}_{x,y} = g(H_{x,y}) \tag{30}$$

ausdrücken. Sie besagt, dass die Signatur des Flächenelementes (x,y) von dessen Höhe abhängig sein soll, wobei die Funktion g() durch die obige Tabelle ausgedrückt ist.

Kombiniert man Sonnen- und Bodenton, so heisst die allgemeine Gleichung

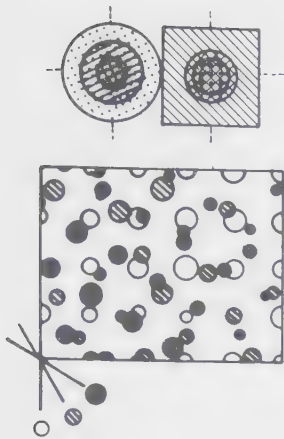
$$\text{Sig}_{x,y} = f(T_{x,y}) \ \& \ g(H_{x,y}) \tag{31}$$

Mit '&' drücken wir dabei ein logisches 'UND' aus, was bedeutet, dass sowohl die erste wie auch die zweite Signatur berücksichtigt wird; insgesamt wird also die Signatur mit der grösseren Flächenbedeckung gesetzt (die kleinere wird durch die grössere überdeckt).

Es erübrigt sich, hier die Herstellung von anderen Platten speziell zu beschreiben. Hingegen haben wir bisher ausser Acht gelassen, dass für den Mahrfarbendruck die Rasterungen der einzelnen Farbplatten gegeneinander abgewinkelt sein sollten.

Da wir bei unserem Verfahren die Printerzeichen direkt als Druckraster verwenden wollen, müssen wir eine Rasterdrehung vornehmen. Zum einen wollen wir damit Moirés (Rastermusterungen) verhindern, und andererseits können wir nur so beliebige Farbefekte erzielen: Liegen die Druckpunkte der einzelnen Farbplatten konzentrisch aufeinander, so verdecken sie sich gegenseitig, wie dies auf Figur 35 oben dargestellt ist. Im Zentrum der Rasterpunkte entstehen subtraktive Farbmischungen, die durch einen einfarbigen Ring (Signatur mit grösster Flächenbedeckung) umgeben sind.

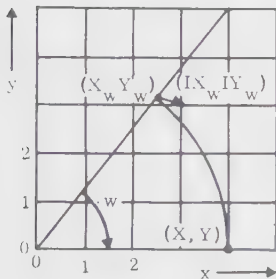
Im Raum einer Einheitsfläche liegen aber die einzelnen Farbpunkte nie nebeneinander. Demgegenüber können wir bei Drucken mit gedrehten Rastern (Fig. 35 unten) sowohl überlappende (subtraktiv) wie auch nebeneinander liegende Farbpunkte (additiv wirkend) sehen.



Figur 35

Diese Rasterdrehung kann nun ebenfalls auf rechnerischem Wege vorgenommen werden. Im Printer sind wir allerdings an das bekannte horizontal und vertikal verlaufende Grundmuster gebunden.

Wir nehmen deshalb an, unser aufrechtes Netz sei das schon abgedrehte Raster, das wir zum Ausdrucken z. B. der Gelbplatte verwenden wollen. Dann müssen wir also für jede dieser Rastereinheiten (X, Y) (Figur 36) eine Signatur (bzw. einen Signaturcode) finden. Wir gehen nun so vor, dass wir die Stelle (X_w, Y_w) aufsuchen, an der sich dieser Rasterpunkt (X, Y) vor der Drehung um den Winkel w befunden hat.



Figur 36

$$X_w = X \cdot \cos w - Y \cdot \sin w$$

$$Y_w = X \cdot \sin w + Y \cdot \cos w$$

(X_w, Y_w) fällt aber erwartungsgemäss nicht mit einem Maschenpunkt des Rasters zusammen, und aus diesem Grunde suchen wir das Zentrum (IX_w, IY_w) der nächstgelegenen Rastereinheit.

$$IX_w = X_w + 0.5 \cdot \text{SIGN}(X_w) \quad (32)$$

$$IY_w = Y_w + 0.5 \cdot \text{SIGN}(Y_w) \quad (33)$$

IX, IY ganzzahlig, Dezimalstellen weggelassen

$\text{SIGN}() = \text{Vorzeichen von } ()$

Die Koordinaten IX_w, IY_w zeigen nun auf das Flächenelement, das dem zurückgedrehten Element (X, Y) am besten entspricht. Nun sind aber der Höhenkotenraster und die rasterbezogene Reliefinformation (Relief I) nicht abgedreht, und wir können aus ihnen an der Stelle (IX_w, IY_w) die Informationen beziehen, die wir zum Auffinden der gesuchten Signatur benötigen.

Kombinieren wir Rasterdrehung und Signaturzuordnung, so lassen sich diese Manipulationen in Erweiterung der Formel (31) allgemein folgendermassen fassen:

$$\text{Sig}_{X,Y} = f(T_{IX_w, IY_w}) \& g(H_{IX_w, IY_w}) \quad (34)$$

X, Y	= Koordinaten der aktuellen Rastereinheit
w	= Drehwinkel
X_w, Y_w	= Koordinaten der rückgedrehten Rastereinheit
IX_w, IY_w	= Koordinaten des nächsten Nachbarn der rückgedrehten Rastereinheit
T	= Transparenzwert
H	= Meereshöhe
$\text{Sig}_{X,Y}$	= Signatur der Rastereinheit (X, Y)
$f()$	= Zuordnungsfunktion: Transparenzwerte ↔ Signaturcodes
$g()$	= Zuordnungsfunktion: Höhe ü. M. ↔ Signaturcodes

Soll die gewünschte Abbildung von weiteren Landschaftselementen abhängen, so können wir an obige Formel weitere entsprechende Funktionen logisch anfügen.

Wie bereits früher erwähnt, haben wir in unseren Beispielen jeweils die Signatur mit der grössten Flächenbedeckung gesetzt:

$$\text{Sig}_{x,y} = f_1() \& f_2() \& \dots \& f_n() \quad f_i() = \text{Zuordnungsfunktionen}$$

Es ist auch möglich, statt die Signatur mit der jeweils grössten Flächenbedeckung zu wählen (vgl. S. 72), die Resultate der einzelnen Funktionen zu mitteln und dann eine Signatur mittlerer Grösse auf dem Printeroriginal zum Ausdruck zu bringen:

$$\text{Sig}_{x,y} = \frac{f_1() + f_2() + \dots + f_n()}{n}$$

Mitsolchen erweiterten Formeln lassen sich beliebige Platten erstellen, wobei jeweils ausser den notwendigen Rasterinformationen je der Drehwinkel einzugeben ist und die Funktionen $f_1(), f_2() \dots f_n()$ etc. zu definieren sind.

Der Graudruck der Tafel 18 entspricht dem Relief I, es ist also das Endprodukt der Schräglichtschattierung (Raster um 30° gedreht). Das Relief II ist dem dargestellten Modell (Formel 34) unterworfen worden, wobei die Funktion $g()$ hier nicht berücksichtigt ist bzw. immer eine Leersignatur geliefert hat. Demgegenüber ist die Blauplatte unabhängig vom Relief I entstanden, d.h. $f()$ hat immer die Signatur 0 geliefert. Nur für die Gelbplatte sind beide Datensätze verwendet worden.

Bei unseren Beispielen haben wir uns an den Grundsätzen der sog. 'Schweizer Manier' orientiert. Das Verfahren ist aber keineswegs an bestimmte Färbungs- und Schattierungsmanieren gebunden, und unter Umständen können sich durch die neuen technischen Möglichkeiten neue Varianten für schatten- und farbenplastische Karten ergeben.

5.46 Weiterverarbeitung der Printeroriginale

Um die Printeroriginale vervielfältigen zu können, sind mit geeigneten Reproduktionsverfahren gradierte seitenverkehrte Filmpositive herzustellen, die anschliessend im Kontakt auf Offsetplatten kopiert werden. In diesem Abschnitt sollen einige für die Reproduktion unserer Beispiele angewendete Arbeitsschritte kurz beschrieben werden. Da diese Wiederabgabeverfahren aber nur für unsere Printeroriginale Gültigkeit haben, ihr Anwendungsbereich also beschränkt ist, haben wir auf eine systematische Untersuchung verzichtet, und nur darauf abgezielt, unsere Printerdarstellungen geeignet wiederzugeben.

Es sind 2 Wege eingeschlagen worden, wobei der eine über einen Strich- der andere über eine Halbtonprozess führt.

Im einen Fall wird vom Punktmuster des Printeroriginals Gebrauch gemacht und davon in einer 5-15-fachen Verkleinerung direkt die fertige Kopiervorlage reproduktionstechnisch hergestellt. Das Resultat ist ein seitenverkehrtes Filmpositiv mit einer Rasterweite von 20-60 L/cm. Dieser Reproduktionsweg ergibt bezüglich der Kartenflächenreproduktion einen kleinen Wirkungsgrad, indem z. B. für einen Kartenausschnitt von 5 x 5 cm mit einem Raster von 60 L/cm ein Printeroriginal von 75 x 75 cm benötigt wird (15-fache Verkleinerung). Wie bei jedem Reproduktionsprozess sind bei dieser Reduktion Tonwertänderungen bei der Wiedergabe zu erwarten; über diese Veränderungen sind keine Untersuchungen durchgeführt worden.

Im zweiten Weg wird das Printeroriginal - als Strichbild, das aus integralen Rasterdichten besteht - mit einem geeigneten Umkopierprozess in entsprechende Halbtondichten umgewandelt. Vorerst wird ein Strichbild im Druckmassstab erstellt, also ein verkleinertes Raster-Negativ. Dieses wird in einem Halbtonprozess derart umkopiert, dass ein positives Halbtombild entsteht, in dem die Rasterpunkte verwischt erscheinen. Zur Verwischung wurden eine Streufolie und eine Glasplatte bestimmter Dicke zwischen Vorlage und lichtempfindlichen Film gelegt. Die bei der Belichtung zwischen Original und Film wirksame Streuung bewirkt eine Verschmierung der Rasterpunkte.

F. Furrer hat diesen Sachverhalt bei einem speziellen Verschmierungsgrad der Rasterpunkte auf die sich ergebenden tonreproduktionsmässigen Aspekte hin überprüft und das Resultat im Anhang B dargestellt.

Die von der Firm Art. Inst. Orell Füssli AG Zürich hergestellten Reproduktionen der Tafeln 10-12 basieren auf dem erwähnten Prinzip der Punktverschmierung, das durch firmeneigene Erfahrungen ergänzt worden ist (mit zusätzliche Reproduktionsstufen).

Diese umgewandelten Originale können dann nach konventionellen Methoden aufgerastert und weiterbehandelt werden. Es scheint durchaus möglich, daraus Reliefs in verschiedenen Gradationen herzustellen, um aus ihnen die notwendigen Druckplatten für einen mehrfarbigen Reliefaufbau abzuleiten; in dieser Beziehung stehen praktische Erfahrungen noch aus.



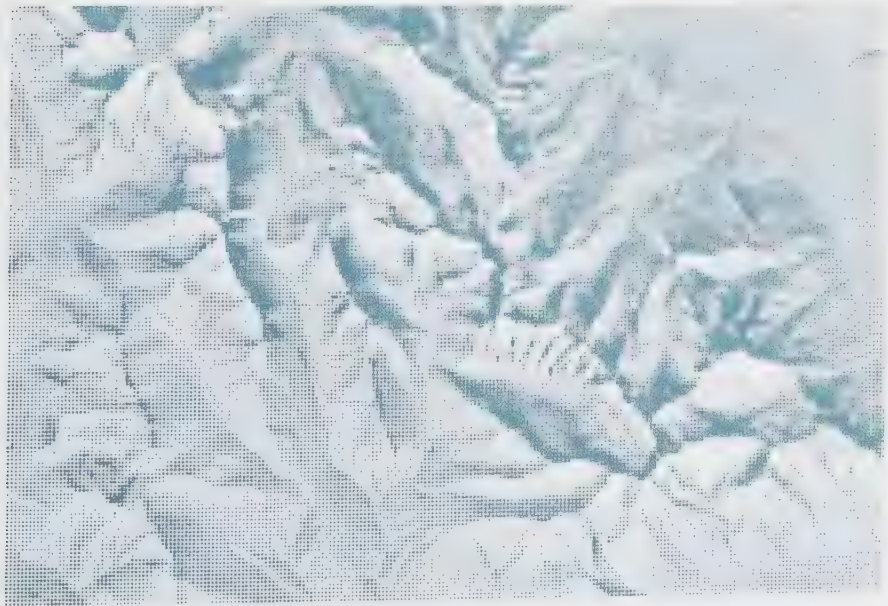
13.1 Schräglightschattierung Di. de Morcles 1 : 200'000
Ausgangsdaten: 100m-Raster
LN = 45 GZW = 10 HKONT = .1
HLR = W WNKL = 55 KF = 2.2
VKL = 5.08
KKAT = 1 + 2 + 3



13.2 Schräglightschattierung 1 : 200'000
Ausgangsdaten 100m-Raster
LN = 45 GZW = 10 HKONT = .1
HLR = W WNKL = 55 KF = 2.2
VKL = 5.08
KKAT = 1 + 2
Abkürzungen s. Tafel 10

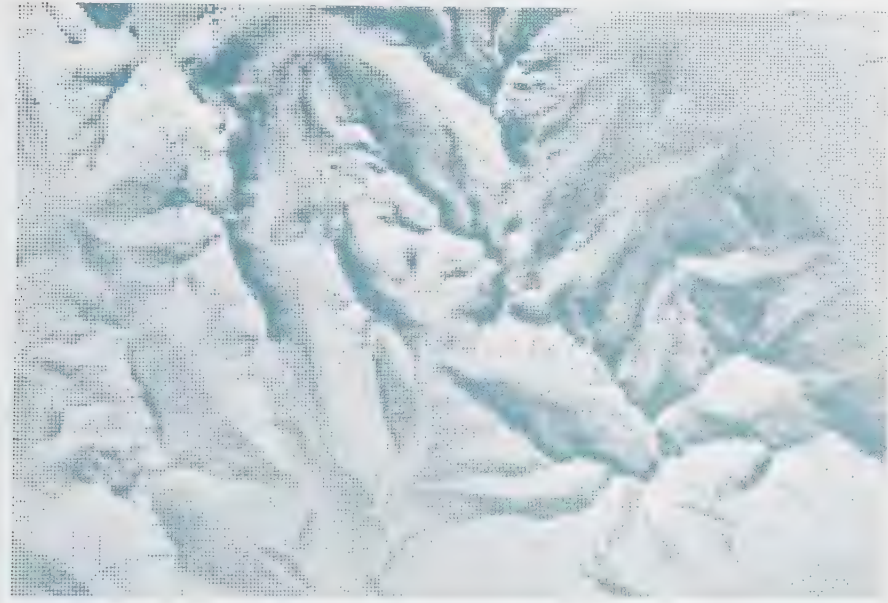


13.3 Schräglightschattierung 1 : 200'000
Ausgangsdaten: 100m-Raster
LN = 45 GZW = 10 HKONT = .1
HLR = W WNKL = 55 KF = 2.2
VKL = 5.08
KKAT = 1



13.1 Schräglightschattierung Dt. de Morcles 1 : 200'000

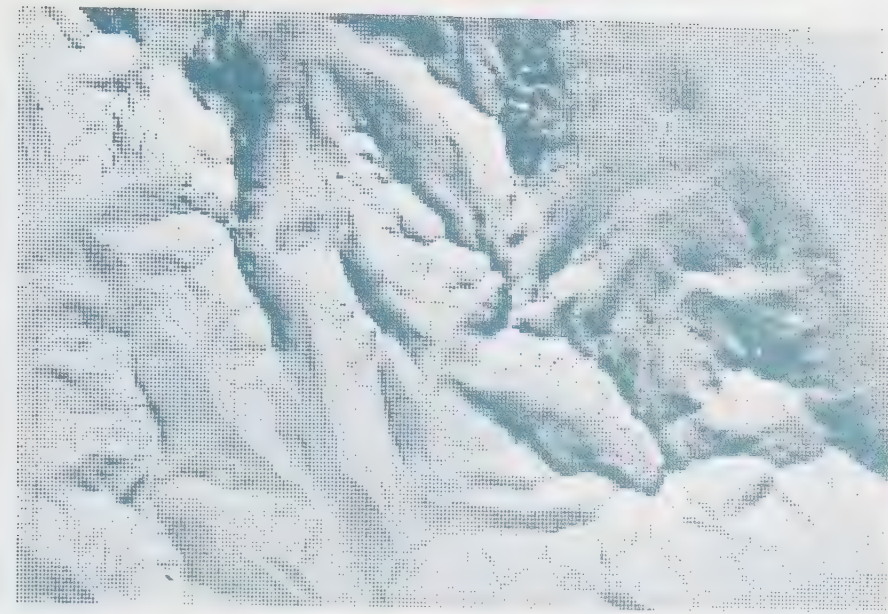
LN = 45	GZW = 10	HKONT = .1
HLR = W	WNKL = 55	KF = 2.2
KKAT = 1 + 2 + 3		VKL = 5.08



13.2 Schräglightschattierung 1 : 200'000

LN = 45	GZW = 10	HKONT = .1
HLR = W	WNKL = 55	KF = 2.2
KKAT = 1 + 2		VKL = 5.08

Abkürzungen s. Tafel 10



13.3 Schräglightschattierung 1 : 200'000

LN = 45	GZW = 10	HKONT = .1
HLR = W	WNKL = 55	KF = 2.2
KKAT = 1		VKL = 5.08



14.1 Schräglightschattierung Dt. de Morcles (Ausschnitt)

1: 100'000.
Ausgangsdaten: 100m-Raster, interpoliert zu 50m-Raster
LN = 45 GZW = 10 HKONT = .1
HLR = W WNKL = 55 KF = 2.2
KKAT = 1 + 2 + 3 VKL = 5.08



14.2 Schräglightschattierung Dt. de Morcles (Ausschnitt)

1: 50'000.
Ausgangsdaten: 100m-Raster, interpoliert zu 25m-Raster
LN = 45 GZW = 10 HKONT = .1
HLR = W WNKL = 55 KF = 2.2
KKAT = 1 + 2 + 3 VKL = 5.08

Abkürzungen s. Tafel 10



14.3 Schräglightschattierung Dt. de Morcles (Ausschnitt)

1: 25'000.
Ausgangsdaten: 100m-Raster, interpoliert zu 12,5m-Raster
LN = 45 GZW = 10 HKONT = .1
HLR = W WNKL = 55 KF = 2.2
KKAT = 1 + 2 + 3 VKL = 5.08



15.1 Schräglightschattierung Dt. de Morcles 1 : 200'000.
Ausgangsdaten: 200m-Raster, interpoliert zu 100m-Raster
LN = 45 GZW = 10 HKONT = .1
HLR = W WNKL = 55 KF = 2.2
KKAT = 1 VKL = 5.08



15.2 Schräglightschattierung Dt. de Morcles 1 : 200'000.
Ausgangsdaten: 400m-Raster, interpoliert zu 100m-Raster
LN = 45 GZW = 10 HKONT = .1
HLR = W WNKL = 55 KF = 2.2
KKAT = 1 VKL = 5.08
(Abkürzungen s. Tafel 10)



15.3 Schräglightschattierung Dt. de Morcles 1 : 200'000.
Ausgangsdaten: 400m-Raster, interpoliert zu 100m-Raster
LN = 45 GZW = 10 HKONT = .1
HLR = W WNKL = 55 KF = 2.2
KKAT = 1+2 VKL = 5.08



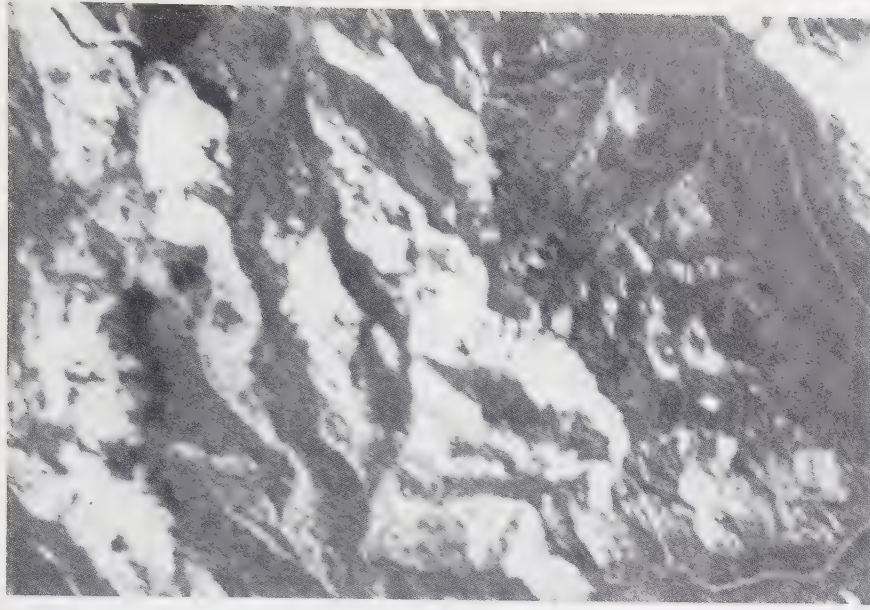
16.1 Schräglightschattierung Dt. de Morcles 1 : 200'000.
Ausgangsdaten: 800m-Raster, interpoliert mit Berücksichtigung der Kantennlinien 1. u. 2. Kategorie zu einem 100m-Raster. Interpoliertes Raster in N-S Richtung geglättet. Schräglightschattierung mit 1. 5-facher Überhöhung.
LN = 45 GZW = 10 HKONT = .1 ohne Retouchen
HLR = w WNKL = 55 KF = 2.2
KKAT = 1 + 2 VKL = 5.08



16.2 Schräglightschattierung Dt. de Morcles 1 : 200'000.
Ausgangsdaten: 800m-Raster, interpoliert mit Berücksichtigung der Kantennlinien 1. Kategorie zu einem 100m-Raster. LN = 45 GZW = 10 HKONT = .1 vereinzelte Retouchen
HLR = w WNKL = 55 KF = 2.2
KKAT = 1 VKL = 5.08

(Abkürzungen s. Tafel 10)

Grenzen der Interpolation



16.3 Zum Vergleich: ERTS-1 Infrarot-Satellitenaufnahme 1:200'000. (Negativ; MSS Band 7, Spektralbereich .8-1.1 μ , 16. 5-fache Vergrößerung). Am 9. Okt. 1972 10. 55 Uhr aus ca. 900 km Höhe aufgenommen; Sonnenhöhe 34°, Sonnenazimut 153°. Datenübermittlung in digitalisierter Form. (Aufnahme: NASA/Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland USA).

6. BEURTEILUNG DER ERZIELTEN RESULTATE

6.1 Bemerkungen zu den einzelnen Tafeln

In diesem Abschnitt wollen wir Bemerkungen und Erläuterungen zu den einzelnen Tafeln anbringen, soweit wir dies nicht schon im bisherigen Text getan haben.

Tafel 1

Ueberblick über die Spezialsignaturen für den Printer: Von den 3 Signaturserien der Abb. 1.5 ist die mittlere ausgewählt worden. Nach dieser Skizze sind 2 Zeichensätze graviert worden, einer mit einem Zeichen pro Druckzelle und ein anderer mit 4 Signaturen pro Duckeinheit (vgl. Abb. 1.4 unten). Die restlichen Abbildungen dieser Tafel zeigen die Wirkung dieser Zeichen in verschiedenen Grössenordnungen. Für die Darstellungen in unserer Arbeit wurde der Zeichensatz 1.4 oben verwendet.

Tafel 2

Vorversuche: Auf einen handgeschummerten Entwurf des dargestellten Gebietes ist ein Raster aufgelegt worden. Jeder Rastereinheit wurde dann durch subjektive Interpretation ein Helligkeitswert bzw. ein entsprechender Signaturcode zugewiesen, der dann mit verschiedenen Techniken dargestellt worden ist. Im Beispiel 2.4 ist der Zeichensatz mit vier gleichen Zeichen pro Flächeneinheit verwendet worden, dessen Grauabstufung zu wünschen übrig lässt. Bei den vertikalen Streifen handelt es sich um die Nahtstellen zwischen zusammengeklebten Computerblättern. Bei den Kugeln der Abb. 2.5 sind die zwei dunkelsten Signaturen miteinander verwechselt worden, was zur Entstehung eines dunklen Ringes geführt hat.

Tafel 3

An geometrischen Figuren werden verschiedene Variationsmöglichkeiten demonstriert, so lokale Anpassung der Beleuchtungsrichtung (abhängig von der Flächenneigung und von der Richtung der Kammlinien) und Helligkeitskorrekturen zur Erzielung eines 'luftperspektivischen' Effektes.

Tafel 5

Wie in Tafel 3 sollen hier die lokalen Lichtdrehungen und die 'luftperspektivischen' Helligkeitskorrekturen demonstriert werden. Die Abbildungen 5.1 - 5.3 zeigen dreimal den gleichen Ausschnitt je aus einer anderen Richtung beleuchtet, aber ohne lokale Lichtdrehungen (Modell von Yoeli). Ungünstig gerichtete Kämme werden stumm, andere treten stark hervor. Die drei Beispiele zeigen unterschiedliche Züge desselben Gebietes. In den Abbildungen 5.6 - 5.9 ist der wesentliche Inhalt dieser 3 Bilder je in einem Bild vereinigt. Im Beispiel 5.6 ist die lokale Lichtdrehung relativ gering (max. 20°), bei 5.7 sehr gross (max. 80°) und bei den Figuren 5.8 und 5.9 liegt sie dazwischen (maximale Abdrehung 55°). Anstelle aller 13 Signaturen sind für die Abbildung 5.9 nur 8 Graustufen verwendet worden. Unterschiede sind vor allem in flachwelligen Gebieten sichtbar (oben links). Figur 5.5 zeigt gegenüber 5.4 die Verbesserung des Reliefeindrucks, die mit Hilfe der Kontrastvariation erzielt werden kann.

Tafel 6

Die vertikale Streifung am linken Rand der Abb. 7.1 geht auf eine Ungenauigkeit bei der Höhenknoteninterpolation zurück (unterdessen auskorrigiert), die durch das 'Aufblähen' noch akzentuiert wird. Im Bereich der oberen linken Ecke wird auch sichtbar, dass für flachwelliges Gelände möglichst viele fein abgestufte Graustufen zu verwenden sind.

In den Legenden der Tafeln 10 - 16 sind jeweils alle Steuerparameter aufgeführt; die für die Gegenüberstellung der verschiedenen Abbildungen relevanten Grössen sind unterstrichen.

Tafeln 10 - 12

Anhand des Anhangs B und mit zusätzlichen eigenen Erfahrungen hat die Firma Orell Füssli AG Zürich das Punktmuster der Printeroriginale auf photographischem Wege verwischt. Alle diese Tafeln sind sowohl in schwarzer, als auch in grauer Farbe gedruckt. Im Gegensatz zu den Tafeln 10 und 11 sind in Abb. 12.1 Hochlichtmasken verwendet worden. Gegenüber den Printeroriginalen weisen diese Beispiele eine gewisse Unschärfe auf, aber die Resultate lassen sich qualitativ mit Peuckers Rasterplotterbeispielen (Peucker 1972/c) vergleichen. Nach Auskunft der Firma Orell Füssli AG liesse sich mit zusätzlichen reproduktionstechnischen Versuchen das Resultat noch verbessern. Ein Qualitätsgewinn wäre mit geringfügigen Handretouchen am Printeroriginal oder auf einem Andruck zu erreichen.

Tafeln 13, 15, 16

In diesen Tafeln sind zwei verschiedene Typen von Variationen gezeigt. Einerseits sind verschiedene feine Höhenknotenraster als Ausgangsdaten verwendet worden (100m-Raster - 800m-Raster), andererseits wurden für die Lichtdrehung nicht immer gleich viele Kantenlinien benutzt. Werden unwichtige Kantenlinien für die Lichtdrehung vernachlässigt, so können sie verschwinden; dadurch wird aber die grossräumige Gliederung etwas verbessert.

Tafel 14

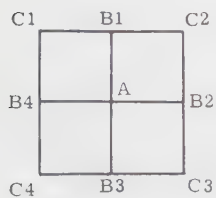
Hier zeigen wir die Verfeinerung eines 100-m-Rasters durch Interpolation von Höhenpunkten. Da die Kantenlinienskizze (Tafel 8.3) zu ungenau war, haben wir sie für die Interpolation nicht berücksichtigt (wohl aber für die Lichtdrehung). In den Originaldaten leicht angedeutete Mulden werden durch die Interpolation akzentuiert. Anhand von 14.2 können wir das empirische Vorgehen bei unserer Arbeit zeigen: Auf dieser Abbildung sind zwei auffällige Kegel (oberes Viertel links) und in grossen Teilen des Bildes eine diagonale Streifung sichtbar. In beiden Fällen handelt es sich um Fehler (Fehler im Datensatz bzw. log. Fehler im Programm), die graphisch sofort hervorstechen und deshalb ohne grossen Aufwand korrigiert werden können. Auf die diagonale Streifung in Abb. 14.3 sind wir im Kapitel 5 (5.41) näher eingegangen.

Tafel 16

Die Abb. 16.1 und 16.2 unterscheiden sich u. a. dadurch, dass für die Interpolation im einen Fall die Kanten 1. und 2. Kategorie, im andern nur diejenigen der 1. Kategorie verwendet worden sind. Helligkeitssprünge an gerundeten Formen der Abb. 16.2 lassen erkennen, dass man mit mehr Graustufen die Uebergänge feiner gestalten könnte. Auf den beiden Printerbeispielen ist der Hangfuss gegen das Rhonetal hin (links und rechts unten) abgerundet worden. Dies geht auf Unklarheiten zum Zeitpunkt des Skizzierens der Gerippelinien zurück. Wir haben damals nämlich statt Kanten (Hangfuss) die Mittelachsen der Formen registriert (vgl. Tafel 8).

Tafel 17

In diesen 6 Abbildungen wollen wir zeigen, dass man auch nicht-topographische Oberflächen mit Schräglightschattierungen darstellen kann. Die Daten zu diesen Bildern stammen aus dem Datenraster Region Zürich, einer Informationssammlung des Geographischen Institutes der Universität Zürich. Das dargestellte Gebiet (Abb. 17.1) ist in Einheitsflächen von je 1 x 1,25 km aufgeteilt, und jedem Flächenelement ist die Bevölkerungszahl 1960 zugeordnet worden. Anschliessend erfolgte eine Umwandlung dieses rechteckigen in ein quadratisches Raster von 1 km Seitenlänge. Dem Zentrum jedes Rasterquadrates ist dann die zugehörige Bevölkerung (hier identisch mit der Bevölkerungsdichte, da Grundfläche = 1 km²) als Kote zugeordnet worden; anhand dieser Koten wurden für feinere Rastereinheiten Dichtewerte interpoliert, und diese sind dann schattiert worden (Beispiel 17.6). Dasselbe Prozedur wurde mit Rasterdaten durchgeführt, die zum Voraus geglättet worden sind (smoothing; vgl. Fig. 37 und Tobler 1970/c. S. 159 - 162).



Glätten eines Datensatzes (Grundprinzip)

Figur 37

$$\begin{aligned}
 X_{A(\text{neu})} &= 0,25 \cdot X_{A(\text{alt})} \\
 &+ 0,125 (X_{B1} + X_{B2} + X_{B3} + X_{B4}) \\
 &+ 0,0625 (X_{C1} + X_{C2} + X_{C3} + X_{C4})
 \end{aligned}$$

(Randgebiete werden speziell behandelt)

Durch gewichtetes Aufteilen eines Bevölkerungsanteils auf die Nachbarzellen werden die Dichtedifferenzen lokal ausgeglichen. Diese Versuche sind in den Abbildungen 17.3 und 17.5 dargestellt, die sich nur durch den Höhenmassstab voneinander unterscheiden ('Ueberhöhung'). Die verschiedene Physiognomie der drei inhaltlich mehr oder weniger gleichen Bilder weist auf eine gewisse Problematik solcher Darstellungen hin:

- Die Steilheit der 'Abhänge' hängt - ausser vom Höhenmassstab - von der Maschenweite des Rasters ab, auf den sich die Grunddaten beziehen. Ist dieser Raster kleinflächig, so fällt am Rande des bewohnten Gebietes der 'Hang' abrupter gegen die unbewohnte Fläche hin ab. (Das gilt analog auch für die choroplethische Darstellung).
- Die angewendete Interpolation ist insofern problematisch, als sie Formen erzeugt (Kegel), deren Existenz nicht nachweisbar ist. Es wäre sinnvoller, das nicht interpolierte Raster zu schattieren, und anschliessend Helligkeitswerte für ein feineres Raster zu interpolieren ('Aufblähen').

Von diesen Einschränkungen abgesehen, sind wir aber doch der Ansicht, dass im wesentlichen kein Unterschied zwischen einer rasterbezogenen Choroplethendarstellung (17.4) und dem entsprechenden Schattierungsbild besteht. Im einen Fall benützen wir für die Darstellung der Dichtewerte den Grundsatz "je grösser, desto dunkler", im andern Fall "je grösser, desto höher", wobei wir 'Hoch' und 'Tief' mit Hilfe der Schattierung simulieren.

Durch Vergleich der geschummerten Beispiele mit Abbildung 17.2 erkennen wir deren Vorteil zur visuellen Charakterisierung von kontinuierlichen Oberflächen; unsere Figuren sind auch grundrisstreu, und sie weisen keine verdeckten Stellen auf.

Der vorgelegte Mehrfarbendruck ist als Versuch zu betrachten und soll dazu dienen, die vorgestellte Methode zu illustrieren. Aus praktischen Gründen haben wir für die Darstellung einen relativ groben Raster gewählt (16 L/cm). Zum einen können wir so einen Einblick in die Rasterdrehung geben; andererseits haben wir unseren Versuch mit einem relativ kleinen Datensatz durchgeführt, der bei stärkerer Verkleinerung ein sehr kleines Beispiel abgegeben hätte. Grundsätzlich steht einer weiteren Reduktion nichts im Wege. - Der Ausschnitt ist rund gewählt worden, weil so bei der Drehung jeder Rasterpunkt innerhalb der Kreisscheibe wieder in diese zu liegen kommt. - Die Grauplatte ist um 30° aus der Normallage abgedreht, das Blau um 60° , während die Kraft- und Gelbplatte normal stehen. Das Zusammenspiel der Farben kann sowohl durch Variation der Signaturrenggröße der einzelnen Farbplatten als auch durch die Wahl der Druckfarbe gesteuert werden.

6.2 Vergleich der Resultate mit den Anforderungen an eine Schräglichtschattierung

In diesem Abschnitt stellen wir unsere Modelle und Versuche den Grundforderungen gegenüber, die wir anhand von Imhof (1965, S. 190 - 229) im Kapitel 2 formuliert haben.

1. Grundgerüst: in unseren Versuchen gehen wir im wesentlichen von den gleichen Grundlageninformationen aus wie der manuell schummernde Kartograph: Höhenkotenraster (analoge Information wie Höhenkurven) und Gerippelinienzeichnung. Wie diese beiden Typen von Grunddaten aber genau beschaffen sein müssen, wird in weiteren Untersuchungen abzuklären sein.

Ueber die Feinheit des Ausgangs-Höhenkotenrasters und die Interpolations- bzw. 'Aufbläh'-Möglichkeiten kann man sich anhand der Tafeln 6, 7 und 13 - 16 ein ungefähres Bild machen. Neben rein graphischen Gesichtspunkten werden hier technische und finanzielle Fragen (Art der Datengewinnung, Verwendung schon bestehender Raster etc) in jedem einzelnen Falle genau abgeklärt werden müssen. Besondere Aufmerksamkeit wird dem Skizzieren der Gerippelinienendarstellung zu schenken sein. Unser Entwurf (Tafel 8.3) ist keinesweg optimal und soll als Versuch angesehen werden. Der hier eingeschlagene Weg mit 3 Kantenkategorien ist nur eine von verschiedenen möglichen Lösungen. Man könnte zum Beispiel, wie dies Bickmore (1968, S. 224) in einem anderen Zusammenhang darlegt, sämtliche zu berücksichtigenden Kantenlinien vorerst nach ihrer Wichtigkeit nummerieren und sie dann in der Reihenfolge der Laufnummern digitalisieren. Ohne weitere Zusatzinformation gibt uns diese Reihenfolge die Möglichkeit, die einzelnen Kantenlinien beliebig zu gewichten (kontinuierlich, also nicht nur 3 Kategorien), oder eine Anzahl unwichtiger Geländelinien am Schluss der Reihe wegzulassen. Der Verwendungszweck in verschiedenen Programmen hat auch einen Einfluss auf die Gestaltung der Gerippelinienzeichnung, ebenfalls der Druckmassstab. In einem intensiven Gedankenaustausch zwischen Kartograph und Programmierer wird eine Systematik für das Zeichnen der Kantenlinien entwickelt werden müssen.

2. Wahl der Hauptlichtrichtungen: Das Schummerungsprogramm ist so gestaltet, dass von Nord- über West- bis zur Sübeleuchtung beliebige Hauptlichtrichtungen gewählt werden können. Auch die generelle Lichtneigung kann mit einem Parameter gesteuert werden.

3. Pendeln der Lichtrichtung um eine Hauptbeleuchtungsrichtung (azimutal): Diese Forderung ist erfüllt. Es kann gewählt werden, um welchen Winkel das Licht maximal abzdrehen ist und bei welcher Stellung der Kämme dies der Fall sein soll. Die Lichtdrehung richtet sich nach dem Streichen der Gerippelinien (die zum voraus digitalisiert werden müssen), und zwischen den verschiedenen Kanten erfolgt sie kontinuierlich. Parallel zum Lichteinfall (azimutal) streichende Kämme sind stumm, aber sobald sie nur wenig von dieser Richtung abweichen, wird das Licht rasch entsprechend abgedreht. Die stummen Stellen sind also eingeengt. Wo sie trotzdem vorkommen, steht das Licht senkrecht zu ev. rechtwinklig abzweigenden Nebenformen; diese werden also stark betont.

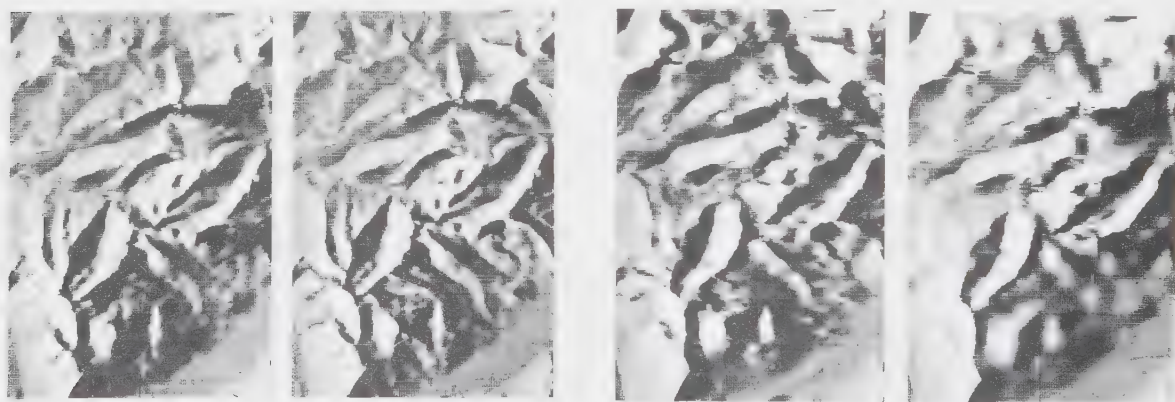
Auf einen Nachteil unseres Modells haben wir auf Seite 61 hingewiesen .

4. Anpassung des Winkels zwischen Lichtrichtung und Horizontalebene an die Geländeform: An steilen Lichthängen wird der Neigungswinkel des Lichtes verkleinert, sobald die Flächennormale (Normale zur Tangentialebene) flacher liegt als der einfallende Lichtstrahl. Weitere Anpassungen wären programmtechnisch möglich, sind aber bisher nicht eingebaut worden.
5. Schattierung nach geometrischen Gesichtspunkten: Die Schattierung erfolgt grundsätzlich aufgrund der Geometrie des Höhenkotenrasters, der Gerippelinienzeichnung und des (variablen) Lichtvektors; zusätzlich sind einige Parameter zur Steuerung des Lichtvektors der Luftperspektive usw. frei wählbar.
6. Abrupte und kontinuierliche Uebergänge: Sämtliche variablen Parameter werden grundsätzlich kontinuierlich variiert. Das bedeutet, dass eine abrupte Helligkeitsänderung immer durch eine abrupte Neigungsänderung im Gelände bedingt ist. Auf eine Ausnahme ist auf Seite 45 hingewiesen worden. Kontinuierliche Neigungsänderungen im Gelände ergeben sanfte Uebergänge, sofern der Darstellungsraster fein genug ist. Plane Flächen werden grundsätzlich im Schummerton gleich gehalten, mit der Einschränkung, dass wegen der Lichtabdringung gegen eine begrenzende Kante hin leicht aufgehellt oder verdunkelt wird (wie von Imhof gefordert).
7. Genauigkeit, Miniaturknitterungen: Unsere Schattierungen bringen höchstens diejenigen Details zutage, die durch Maschen im zugrundeliegenden Höhenkotenraster erfasst sind. Was dort vorhanden ist, wird aber abgebildet. - Durch das Interpolationsprogramm können Vertiefungen und Erhebungen, die im ursprünglichen Datensatz nur angedeutet sind, eventuell etwas akzentuiert werden. Durch Einsetzen von speziellen Gerippelinien können ev. Miniaturformen hervorgehoben werden. Wir sind aber nicht in der Lage, Miniaturknitterungen zu übertreiben, um damit ein Landschaftscharakteristikum zum Ausdruck zu bringen.
8. Luftperspektive: Durch zwei Prozeduren (generelles Abdunkeln nach der Tiefe hin bzw. umgekehrt; Kontrasterhöhung in Hochlagen und -verminderung gegen unten) sind uns Mittel in die Hand gegeben, luftperspektivische Effekte zu erzielen. Diese Prozeduren werden von je einem Parameter gesteuert, die jeweils auf den Verwendungszweck der Karte und auf die graphischen Elemente, mit denen das Relief kombiniert werden soll, abgestimmt werden können.
9. Hervorheben von Grossformen: Zum einen unterstützt die Luftperspektive die grossräumige Gliederung, und zum andern kann darauf durch Setzen von Geländekanten 1. Kategorie Einfluss genommen werden. Weil bei der Lichtdrehung solchen Linien ein grosses Gewicht gegeben wird und ihr Einflussbereich definitionsgemäss weiter reicht als der der andern Kanten, sind diese Grossformen immer relativ günstig beleuchtet;

d.h. der azimutale Winkel zwischen Lichtstrahl und dem Streichen der Geländekante tendiert meist gegen 90° . Dadurch wird die Form als Ganze hervorgehoben. Ein Vergleich mit den Beispielen der Eidg. Landestopographie zeigt aber, dass das Abdunkeln der Schattenseiten und das Aufhellen der Lichtseiten dort - mindestens bei den gezeigten Beispielen - bedeutend weiter getrieben wird.

Will man die Grossgliederung stärker hervorheben, so geschieht dies nach unserer Ansicht mit Vorteil unter optischer Kontrolle durch das Auge (Rückkoppelung!). Eine zukünftige Möglichkeit dazu bieten ev. Halbton-Bildschirmgeräte, auf denen man das Schummerungsbeispiel abbilden und nach Wunsch bezeichnete Gebiete aufhellen oder abdunkeln kann. Abänderungen können laufend modifiziert oder rückgängig gemacht werden, wodurch ein Abtasten nach einem Optimum ermöglicht wird.

10. Generalisierung: Erste 'Generalisierungs'möglichkeiten sind in den drei Abbildungen der Tafel 13 angedeutet; sie sind dadurch bedingt, dass vom linken zum rechten Beispiel mehr Kämme für die Lichtdrehung unberücksichtigt bleiben und dadurch in den Hintergrund treten. Grössere 'Generalisierungs'effekte sind zu erwarten, wenn man für die Interpolation des Höhenkotenrasters ganze Kammkategorien nicht mehr berücksichtigt. In den Abbildungen Tafel 16.1 und 16.2 ist dies angedeutet. Berücksichtigte Kantenlinien werden scharf hervorgehoben, während die dazwischenliegenden Gebiete ausgeglättet sind. Wie dies auch Imhof betont, empfiehlt sich gleichzeitig mit der Generalisierung eine Ueberhöhung des ganzen Reliefs (16.1 ist überhöht). Um den 'Generalisierungs'effekt besser beurteilen zu können, sind die Beispiele der Tafeln 15 (15.2, 15.3) und 16 (16.1 und 16.2) in der Figur 38 verkleinert wiedergegeben worden.



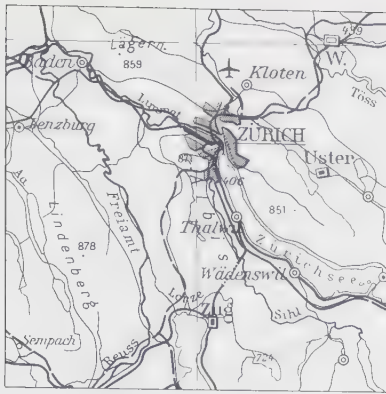
Figur 38 Schräglichtschattierungen Dt. de Morcles ca. 1 : 440 000. Ausgangsdaten: 800-m-Raster (rechts) und 400-m-Raster (links), interpoliert zu einem 100-m-Raster, Printeroriginal ca. 13-fach verkleinert. Verkleinerte Wiedergabe der Abb. 15.2, 15.3 und 16.1, 16.2 (rechts)

Diese Abbildungen unterscheiden sich ausser im Massstab von den Beispielen der Tafel 13 in folgenden Punkten:

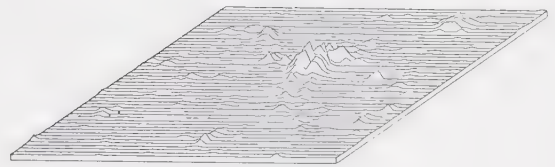
- systematisches Weglassen von Information (nur jeder 16. bzw. 64 Rasterpunkt ist berücksichtigt worden).
- selektives Weglassen von Information: nur bestimmte Kantenlinien sind für die Interpolation und/oder die Drehung des Lichtvektors verwendet worden.

Beim Generalisieren soll aber nicht nur weggelassen werden, sondern unter Berücksichtigung der gesamten Information soll ein neues, vereinfachtes Bild entstehen, das die Charakteristika der Ursprungsdaten noch enthält. In unseren Beispielen sind solche Gesichtspunkte nicht berücksichtigt, und folglich handelt es sich hier nicht um eine Generalisierung im eigentlichen Sinne. In folgenden Richtungen könnten Untersuchungen durchgeführt werden:

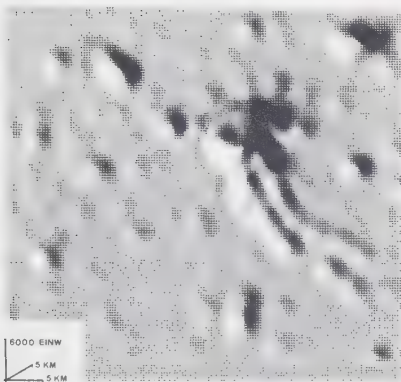
- Schattieren mit generalisierten Gerippelinienzeichnungen und nicht-generalisierten (aber interpolierten) Höhenkotenrastern.
 - Generalisieren von Höhenkotenrastern (speziell im Hinblick Schattierungsdarstellungen); zu den generalisierten Geländemodellen müssten dann die entsprechenden Gerippelinien gezeichnet werden. Anschliessend Schattieren.
11. Ungünstige Fälle, spezielle Schwierigkeiten: Es wäre verfehlt, mit Hilfe von Programmen Einmaliges festhalten zu wollen. Mit dem Computer kann nur Generelles, es können allgemeine Prinzipien fest vorgegeben werden. Für Spezialfälle bedarf es einer Individualbehandlung. Inwiefern eine solche nötig ist, hängt von der angestrebten Güte der Schummerung ab, ist also eine Frage von Aufwand und Ertrag. Manuelle Retouches oder Eingriffe an Bildschirmgeräten könnten hier zur Ergänzung beigezogen werden.



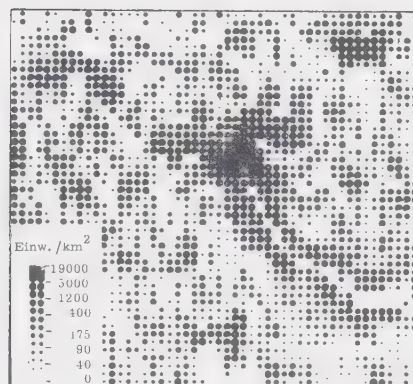
17.1 Das dargestellte Gebiet 1 : 1 Mio.



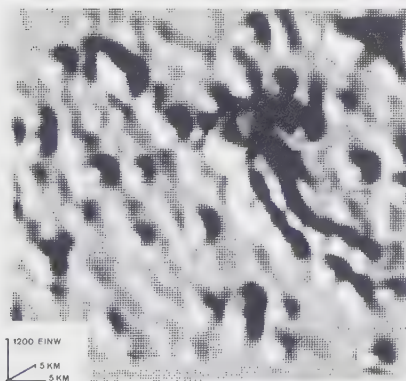
17.2 Parallelperspektivisches Blockbild
hergestellt am Geogr. Departement,
University of Michigan (W. Tobler).



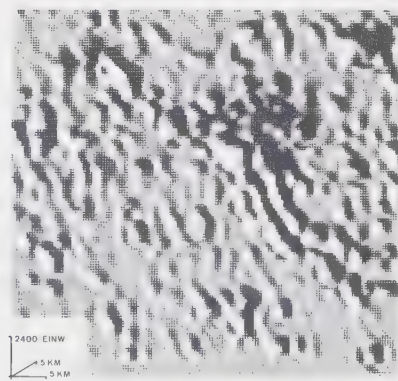
17.3 Schräglightschattierung geglättet,
kleiner Höhenmassstab, konstante
Beleuchtungsrichtung (SW, 45°).



17.4 Choroplethische Darstellung nach
Rastereinheiten (quadratisches
Dichtemosaik) ungeglättet.



17.5 Schräglightschattierung geglättet,
grosser Höhenmassstab, konstante
Beleuchtungsrichtung (SW, 45°).



17.6 Schräglightschattierung ungeglättet,
konstante Beleuchtungsrichtung
(SW, 45°).

Wohnbevölkerung 1960 der Region Zürich 1:1'000'000

Die Daten entstammen dem "Informationsraster der Region Zürich", einer Datensammlung am Geogr. Institut der Universität Zürich.



18.1 Vierfarbendruck



18.2 Kraftplatte (Relief II) 0°



18.3 Grauplatte + Gelbplatte



18.4 Gelbplatte + Blauplatte



18.5 Grauplatte (Relief I) 30°



18.6 Blauplatte 60°

Mehrfarbiges Relief, hergestellt aus farbgetrennten Printeroriginalen mit gedrehtem Raster

7. WIRTSCHAFTLICHE FRAGEN UND AUSBLICK

Zum Schluss sollen einige ökonomische Aspekte zur Automation der Reliefschattierung kurz gestreift werden. Es kann hier nicht darum gehen, eine sauber durchgeführte Kostenabschätzung aufzustellen, denn die genaue Beurteilung des Aufwandes ist immer davon abhängig, welche Apparaturenkonfigurationen - von der Datenaufnahme bis zum Druck - einer jeweiligen Institution zur Verfügung stehen; auch spielt es eine Rolle, ob benötigte Datensätze schon vorhanden sind.

Ich beschränke mich hier deshalb darauf, Kosten und Aufwand im Laufe meiner Arbeiten in den wichtigsten Punkten zusammenzustellen.

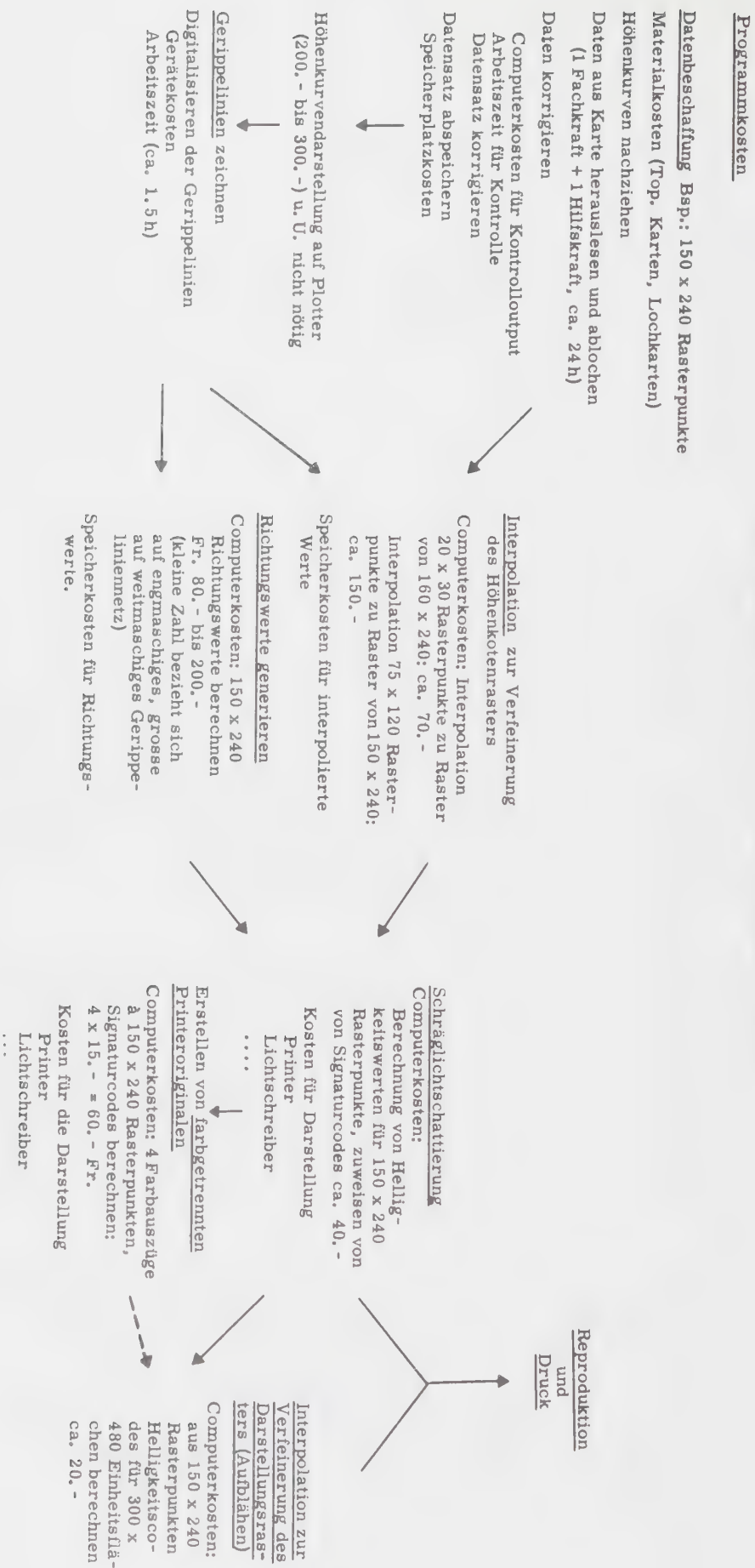
Bei jedem Projekt ist vorerst mit Programmkosten zu rechnen. Abgesehen von der Arbeitszeit wurden für das Austesten der verschiedenen Programme und das Erstellen der verschiedenen gezeigten Beispiele rund 25 000 Fr. Computerkosten verursacht. Bei der Beurteilung dieses Betrages ist zu berücksichtigen, dass in jeder Forschungsarbeit vorerst eine grosse Zahl von Umwegen beschritten werden, bevor man zum angestrebten Ziel gelangt. Bei unseren Untersuchungen sind wir bewusst empirisch vorgegangen: Zur Einführung eines neuen Modells ist vorerst mit kürzestem Arbeitsaufwand eine Programmvariante entworfen worden, die die grundlegende Idee des Modells in sich trägt. Aufgrund erster Berechnungen und der graphisch dargestellten Resultate ist dann diese Idee verworfen oder verfeinert worden. Erst kartographisch sinnvolle und logisch ausgetestete Programme wurden dann in einem zweiten Schritt in ihrer Ausführungseffizienz verbessert. Die 'Rohbauprogramme' sind aus den genannten Gründen sehr kostenaufwendig, d.h. die Programmausführung braucht viel Computerzeit; andererseits wurde sehr viel an Programmierzeit gespart. Dieses Vorgehen scheint uns insofern sinnvoll und berechtigt, als die Investitionen für die Hochschulcomputer gemacht und diese Anlagen nicht immer voll ausgelastet sind; auch soll die Aufgabe der Forschung primär darin liegen, Ideen zu verfolgen, und erst in zweiter Linie geht es darum, die objektivierten Ideen der ökonomischen Realität anzupassen.

Stehen die produktionsreifen Programme einmal zur Verfügung, so sind Kosten für die Datenbeschaffung, für die verschiedenen Datenmanipulationen, die Schattierung mit geeigneten Darstellungsmedien sowie für Reproduktion und Druck zu berücksichtigen. Aussagen, die wir aufgrund unserer Arbeit machen können, sind in Figur 39 zusammengestellt. Die angegebenen Kosten für die einzelnen Prozeduren beziehen sich auf die Programme, wie sie bei Abschluss dieser Arbeit vorliegen: Sie sind nur teilweise optimiert, und es handelt sich um Testprogramme, die so allgemein gehalten werden müssen, dass verschiedenste Varianten untersucht werden können. Für Produktionsprogramme können dann unter Umständen Variationsmöglichkeiten weggelassen werden, wodurch sich der Aufwand an Rechenzeit reduziert. - Die aufgeführten Kostenangaben entsprechen den Ansätzen, die das Rechenzentrum der Universität Zürich Ende 1972 für ausseruniversitäre Benützer ihrer Anlagen verwendet (IBM 370-155: CPU-Zeit 2300.- Fr. /Std; IBM 1620 100.-Fr. /Std.).

Setzt man nun die zu erwartenden Kosten neben die Qualität der gezeigten Beispiele, so wird der Fachmann entscheiden können, ob und in welcher Form eine Anwendung der einen oder andern gezeigten Methode in Frage kommt. In technischer Hinsicht scheinen uns Weiterentwicklungen und Verbesserungen in folgenden Richtungen möglich zu sein:

- Schattierungsdarstellung: Der verwendete Printer IBM 1443 (mit speziellen Abänderungen) war geeignet, unsere verschiedenen Modelle mit mässigem Aufwand zu testen. Was das technische Vorgehen und die Qualität der Darstellungen betrifft, so entspricht unsere Konfiguration aber nicht den Anforderungen, die an eine serienmässige Produktion von Schräglichtschattierungen gestellt werden. Zum einen wäre anzustreben, dass das Ausgabegerät

ARBEITSGÄNGE UND AUFWAND FÜR DAS ERSTELLEN VON AUTOMATISCHEN SCHRÄGLICHTSCHATTIERUNGEN



Figur 39

direkt am Computer, der die verschiedenen Berechnungen durchführt, angeschlossen ist. Andererseits gilt es, Ungenauigkeiten in der Zeilenschaltung zu eliminieren. Ein weiterer Nachteil unserer Printeroriginalen liegt in der Grösse der einzelnen Einheitsflächen: Um einen üblichen Druckraster zu erhalten, müssen wir die Abbildungen entweder stark verkleinern oder einem Verwischungsprozess unterziehen. Zukünftige Möglichkeiten bieten Bildschirmgeräte, deren graphischer Inhalt jeweils direkt auf Film geblitzt werden kann. Peucker hat bereits Anwendungsbeispiele von sog. Rasterplottern gezeigt (Peucker 1972/c), die in 64 Helligkeitsstufen Rasterpunkte (in Druckrastergrösse) auf Film abbilden können.

- Modellverbesserungen: Vorerst ist der genauen Gestaltung von Gerippelinienzeichnungen die nötige Aufmerksamkeit zu schenken; es ist zu prüfen, welche Generalisierungsmöglichkeiten die gespeicherten Kanteninformationen bieten. - Ferner können unter Umständen weitere deterministische Parameter ins Schattierungsmodell eingebaut werden. Andererseits scheint es mir sinnvoll, die Programme so auszubauen, dass mit interaktiven Eingriffen das Resultat modifiziert werden kann; der Mensch sitzt dann am Bildschirmgerät, kann dort einige Kammlinien akzentuieren, Bildbezirke abdunkeln etc..
- Handüberarbeitung: Statt mit interaktiven Konsolen können durch den Schattierungsfachmann auf den Printeroriginalen Retouchen angebracht werden. Praktische Versuche werden zeigen müssen, ob es allenfalls ökonomisch ist, den Computer die Grundmodellierung durchführen zu lassen, die dann vom Kartographen - ev. mit geringem Zusatzaufwand - aufgearbeitet wird.

Nach Mitteilung der Fa. Art. Inst. Orell Füssli AG Zürich würde eine Ueberarbeitung vor allem darin bestehen, die Lichter aufzuhellen, die Schatten abzudunkeln und die Unruhe der verschiedenen Darstellungen zu eliminieren (?). Ein ähnliches Verfahren wird heute schon bei der Neuauflage von Karten angewendet: Alte Schattierungen werden in grauer Farbe auf kaschierten Karton gedruckt und mit einem Zeitaufwand von rund 20 % der Neubearbeitung nachgeschummert.

- Verwendung von Luft- und Satellitenbildern für die Datengewinnung (inkl. Infrarot- oder Radaraufnahmen): Reliefinformation kann nach geometrischen Gesichtspunkten herausgezogen und durch entsprechende Manipulation weiterverarbeitet werden (s. auch Marsik 1971). Andererseits besteht ev. auch die Möglichkeit, von Satellitenaufnahmen - deren Information bereits in digitalisierter Form vorliegt - direkt die Helligkeitsdaten in einer Schummerungsprozedur zu verwerten.
- Anwendungsmöglichkeiten: Neben der Erstellung von Geländeschattierungen kann die gezeigte Methode für Anwendungen in der Wissenschaft von Bedeutung sein. In immer mehr Wissenschaftszweigen fallen immer mehr Daten an, und es gilt, mit geringem Aufwand und innert nützlicher Zeit diese in graphisch überschaubarer Form aufzuarbeiten; der Mensch kann dann aufgrund dieser Darstellungen komplexe Sachverhalte überschauen und seine Entscheide fällen. Es werden Versuche nötig sein, Schattierungsdarstellungen thematischer Oberflächen mit verschiedenen anderen graphischen Darstellungselementen zu kombinieren.

LITERATURVERZEICHNIS

Die hier aufgeführten, vom Autor eingesehenen Titel entsprechen keineswegs dem vollständigen Schrifttum auf den Gebieten Computer Kartographie und Geländedarstellung. Ausgedehntere Literaturhinweise sind zu finden in:

- Meine, K. -H. : Bibliographie zur Automation in der Kartographie, Bonn 1969
Peucker, Th. K. : Computer Cartography, A Working Bibliography, Dept. of Geogr.
University of Toronto, Discussion Paper No.12, August 1972
Imhof, E. : Kartographische Geländedarstellung, Walter de Gruyter & Co.,
Berlin 1965

Abkürzungen

- Kart. Nachr. Kartographische Nachrichten, Gütersloh
Int. Jb. f. Kart. Internationales Jahrbuch für Kartographie, Gütersloh
S+M Surveying and Mapping, Washington
Geogr. Helv. Geographica Helvetica, Bern

- Alpha, T.R. und Winter, R.E. : Quantitative Physiographic Method of Landform
Portrayal, in: The Canadian Cartographer, Vol. 8, No. 2, Dec. 1971,
S. 126 - 136
Arbellot, G. : La cartographie statistique automatique appliquée à l'histoire, S.E.V.P.E.N.,
13, Rue de Four, Paris 1970, 113 S.
Arnberger, E. : Die Kartographie als Wissenschaft und ihre Beziehungen zur Geographie
und Geodäsie in: Arnberger, E. : Grundsatzfragen der Kartographie,
Wien 1970
Arnold, G. : Formeln der Mathematik NETZ, Georg Westermann Verlag, Braun-
schweig 1965
Aumen, W.C. : A New Map Form: Numbers, in: Int. Jb. f. Kart., X, 1970, S. 80 - 84
Baldock, E.D. : Cartographic Relief Portrayal, in: Int. Jb. f. Kart., XI 1971, S. 75 - 80
Bantel, W. : Le procédé de reproduction de l'original en noir et blanc pour les cartes
en relief polychromes, Orell Füssli Zurich, Ass. Cart. Int. 1972
Bartels, D. : Theoretische Geographie, in: Geogr. Zeitschrift, 2/1969, S. 132 - 144
Bates, Douglas und Gritsch: Einführung in die Programmiersprache PL/1 für den Selbst-
unterricht, 2. Aufl., Carl Hanser Verlag, München 1970
Beck, W. : Die Karte der Zukunft, in: Kart. Nachr., 22. Jg. 1, Feb. 1972, S. 1 - 10
Berry, B.J.L und Marble, D.F. : Spatial Analysis, a Reader in Statistical Geography,
Prentice-Hall inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1968/a
Berry, B.J.L.: Approaches to regional Analysis: a Synthesis, 1968/b, in: Berry, B.J.L.
and Marble, D.F. : Spat. Anal., Englewood Cliffs, New Jersey, 1968/a
S. 24 - 34

- Berry, B.J.L. und Baker, A.M.: Geographic Sampling, 1968/c, in: Berry, B.J.L. and Marble, D.F.: *Spat. Anal., a reader in Stat. Geogr.*, Prentice-Hall inc., Englewood Cliffs, New Jersey 1968/a, S. 91 - 100
- Bertin, J.: *Sémiologie graphique*, Gauthier-Villars und Mouton & Cie, Paris-La Haye, 1967
- Bertin, J.: *La cartographie dans la civilisation de l'information*, in: *Int.Jb.f.Kart.*, X 1970, S. 85 - 94
- Bertin, J.: *Les constantes de la cartographie*, in: *Int.Jb.f.Kart.*, XI 1971, S. 182 - 187
- Bickmore, D.P.: *Maps for the Computer age*, in: *The Geogr. Magazine*, Dec. 1968, S. 221 - 227
- Bickmore, D.P.: *Recent advances in automatic cartography*, in: *WLUS-Occ. Paper Nr. 9*, Ebbingford, Bude 1970
- Board, C.: *Maps as Models*, in: Chorley, R.J. & Haggett, P., *Models in Geography*, Methuen & Co Ltd. London 1967, S. 671 - 725
- Boesch, H.: *Contributions to land use survey techniques*, WLUS Occ. Paper No. 10, Berkhamsted, Herts, England 1971
- Böhme, R.: *Internationale Zusammenarbeit bei der Informationsbeschaffung für die Fortführung kleinmassstäbiger Uebersichtskarten*, in: *Int.Jb.f.Kart.*, X 1970, S. 181 - 185
- Bormann, W.: *Allgemeine Kartenkunde*, Kart. Schriftenreihe "Astra", Joseph Penz-gey-Szabo, Verlag Kartographie, Lahr, Schwarzwald 1954
- Bosse, H.: *Kartentechnik I, Zeichenverfahren*, Justus Perthes Gotha 1951
- Bouknight, W.J.: *A Procedure for Generation of Three-dimensional Half-toned Computer Graphics Presentations*, in: *Communications of the ACM*, Vol. 13, No. 9, Sept. 1970, S. 527 - 536
- Boyle, A.R.: *Computer aided compilation*, Manuscript Canadian Hydrographers Conference, Jan. 1970
- Brandstätter, L.: *Neue Gedanken zur top. Kartographie des Hochgebirges*, in: *Kart. Nachr.* 20/5, Okt. 1970, S. 167 - 177
- Brandstätter, L.: *Schattenplastik oder Scharungsplastik, über die notwendige Neugestaltung topographischer Gebirgskarten im Zeitalter der Luftbildtechnik*, in: *Arnberger, Grundsatzfragen der Kartographie*, Wien 1970, S. 72 - 91
- Brassel, K.: *Landnutzungsaufnahmen mit Hilfe von Stichprobenmethoden*, unpubl. Dipl. Arb., Geogr. Inst. Univ. Zürich 1969
- Brassel, K.: *Land Use Surveys by Sampling Methods*, in: *Contributions to Land Use Survey Methods*, The Land Use Survey Occasional Paper No. 10, Geogr. Publ. Ltd., Berkhamsted Herts, England 1970, S. 3 - 17
- Brassel, K.: *Darstellungsversuche mit dem datengesteuerten Schnelldrucker*, in: *Kart. Nachr.* 5/71, 1971/a, S. 182 - 188
- Brassel, K.: *Einsatz des Computers im Geographieunterricht*, in: *Geogr. Helv.* No. 4, Vol. 26, 1971/b, S. 191 - 196
- Brassel, K.: *Der Datenraster Region Zürich*, Manuskript Geogr. Inst. Univ. Zürich, Dez. 1971/c, 13 S.
- Brassel, K., Kilchenmann, A., Boesch, H.: *Karten aus dem Automaten*, in: *Tages-Anzeiger-Magazin*, Nr. 39, S. 17 - 22, Zürich Sept. 1972

- Brooks, W.D. und Pinzke, K.G.: A Computer Program for Three-Dimensional Presentation of Geographic Data, in: The Canadian Cartographer, Vol. 8, No. 2, S. 110 - 125
- Burton, I.: The Quantitative Revolution and Theoretical Geography, 1968, in Berry, B.J.L und Marble, D.F.: Spat. Anal., a reader in Stat. Geogr., Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 1968, S. 13 - 23
- Carlberg, B.: Schweizer Manier und wirklichkeitsnahe Karte, Probleme der Farbgebung, in: Kart.Nachr. 4/1954, S. 8 - 14
- Carmichael, L.D.: Experiments in Relief Portrayal, in: The Cartogr. Journal, Vol.1, June 1964, S. 11 - 17
- Chorley, R.J. and Haggett: Trend-Surface Mapping in Geographical Research, in: Spat. Anal., a Reader in Statistical Geography, by Berry, B.J.L. and Marble, D.F., Prentice-Hall, New Jersey 1968, S. 195 - 215
- Cobb, M.: Changing map scales by automation, in: The Geogr. Magazin, Vol. XLII, Nr. 11, S. 786 - 788, Aug. 1971
- Cochran, W.G.: Sampling Techniques, 2nd ed., John Wiley & Sons Inc., New York, London 1963
- Constam, M.: Fortan für Anfänger, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1971
- Denegre, J.: Developments récents de l'automatisation appliquée aux cartes topographiques à moyenne échelle, 6ième Conférence Technique de Cartographie, Ottawa, Aug. 1972
- Dieterlen, D. und Joseph, B.: La Cartographie automatique, in: Automatisme No. 2, Feb. 1966, S. 3 - 7
- Dworatschek, S.: Einführung in die Elektronische Datenverarbeitung, Ein Fernsehkurs im Medienverbund, Band 1, TR-Verlagsunion, München 1972
- Experimental Cartography Unit Royal College of Art: Automatic and Planning, Architectural Press, London 1971, 232 S.
- Ellenberg, L.: Versuch der numerischen Erfassung des Reliefcharakters, in: Geogr. Helv. 24. Jg. Nr. 1, 1969, S. 13 - 15
- Fehl, G.: Karten aus dem Computer, in: Stadtbauwelt 1967, Heft 13, S. 1003 - 1006
- Fisher, M.: The Laboratory for computer Graphics, HGSDA-supplement (Harvard), Summer 1967
- Folkers, I.: Qualitätsbeurteilung und -überwachung in der kartographischen Reproduktionstechnik, in: Kart.Nachr. 20/1, Feb. 1970, S. 12 - 21
- Freitag, U.: Semiotik und Kartographie, in: Kart.Nachr., Jg 21, Heft 5, Okt. 1971, S. 171 - 182
- Friedemann, H.: Von neuen Erfindungen: Anordnungen und Verfahren zur Herstellung von Schummerungen für kartographische Zwecke, in: Kart.Nachr. 5/62, Okt. 1962, S. 150 - 151
- Gächter, E.: Die Automation in der Kartographie, in: K+F - Kreis, Jg. 10, Nr. 21, Dez. 1969
- Gächter, E.: Anwendungsbeispiele der EDV in der Kartographie, in: Kart.Nachr. 21/1, Feb. 1971, S. 16 - 21
- Gambin, M.Th.: L'automatisation: Une ère nouvelle pour la cartographie, in: Bulletin de l'Association de Géographes français, No. 379 - 380, Mars/Avril 1970

- Garbe, H.: Glossar zu: Einführung in die elektronische Datenverarbeitung, Ein Fernsehkurs im Medienverbund, TR-Verlagsunion, München 1972
- Gassmann, F. und Gutersohn, H.: Knotenstreuung und Relieffaktor, in: Geogr. Helv., Vol. 2, Nr. 2, 1947, S. 122 - 139
- Gerlach, A. et al: Relief Portrayal, American Congress on Surveying and Mapping, Sept. 1962
- Gilman, C.R.: Photomechanical Experiments in automated Cartography, Manuscript 1972, 19 S.
- Gregory, S.: Statistical Methods and the Geographer, 2. Aufl., Longmans, Green and Co. LTD, London 1964
- Grosse, G.: Einige Grundregeln für den Kartenentwurf der geogr.-kartogr. Redaktion, in: Kart. Nachr. 19/2, April 1969, S. 58 - 62
- Haack, E. und Lehmann, E.: Zur Darstellung des Festlandreliefs in der Weltkarte 1 : 2'500'000, Int. Jb.f. Kart., Jg. XI, 1971, S. 83 - 89
- Hackmann, G.A. und Willatts, Ch.E.: LINMAP and COLMAP, an automated thematic cartographic technique, 6th Internat. Cart. Ass. Conf., Canada Aug. 1972
- Hackmann, G.A. und Willatts, Ch.E. und Worth, J.: Instant maps for planners, in: The Geogr. Magazine, Vol. XLIV/11, 1972, S. 775 - 777
- Haefner, H.: Remote Sensing und Kartographie, in: Geogr. Helv. Jg 26, Nr. 2, 1971, S. 49 - 52
- Hägerstrand, T.: A Monte Carlo Approach to Diffusion, in: Berry and Marble: Spatial Analysis, Prentice-Hall 1968, S. 368 - 384
- Hägerstrand, T.: Der Computer und der Geograph, in Bartels D.: Wirtschafts- und Sozialgeographie, Neue wiss. Bibl., Wirtschaftswiss. Verlag Kiephauer und Witsch, Köln, Berlin 1970, S. 278 - 300
- Haggett, P. und Chorley, R.J.: Models, Paradigms and the New Geography, in: Chorley, R.J. und Haggett, P.: Models in Geography, Methuen & Co. LTD 1967, S. 19 - 39
- Hake, G.: Der Informationsgehalt einer Karte - Merkmale und Masse, in: Arnberger: Grundsatzfragen der Kartographie, Wien 1970, S. 119 - 131
- Halpern, J.W.: Computer Graphics, in Research News, Office of Research Administration, the University of Michigan Ann Arbor, Vol. 21, 4/5, Okt./Nov. 1970
- Harris, L.J.: Address to the Annual Meeting, in: The Cartographer, Vol. 4/1, 1967, S. 47 - 55
- Hase, K.: Aufbau des Informationsrasters, in: DISP Nr. 24, Sondernummer, ORL-Institut ETH, Juni 1972, S. 4 - 7
- Hanle, A.: Die Lochkarte und ihre Anwendung im geographisch-kartographischen Arbeitsbereich, in: Kart. Nachr. Jg. 21, Nr. 2, 1971, S. 58 - 62
- Hauri, H.: Programmgesteuerte Zeichenanlagen in der Industrie, in: NZZ Nr. 225 vom 19. Mai 1970
- Hawlitzeck, E.: Numerisch gesteuerte Koordinatographen in der Kartographie, in: Kart. Nachr., 5/1969, S. 171 - 180
- Hengst, M.: Einführung in die mathematische Statistik und ihre Anwendung, Mannheim 1967

- Herrmann, Ch.: Studie zu einer naturähnlichen topographischen Karte 1 : 500'000, Diss. Univ. Zürich 1972
- Heupel, A.: Automation in der top. Kartographie, in: E. Arnberger: Grundsatzfragen der Kartographie, Wien 1970, S.132 - 139
- Hoinkes, Ch.: Bericht über einen Studienaufenthalt an der Experimental Cartography Unit (ECU), Royal College of Art, London März/April 1971, Manuskript, Juli 1971, 8 S.
- Hoinkes, Ch.: Bericht über einen Studienaufenthalt in England zur Untersuchung von Problemen der kartographischen Automation, 23.3 - 28.4.72. Manuskript Kartograph. Institut ETH Zürich, Juli 1972, 6 S.
- Hölzel, F.: Zur Geländedarstellung in thematischen Karten, in: Haack-Festschrift, H. Haack, Geogr.Kart. Gotha, 1957, S. 101 - 109
- Hölzel, F.: Die Geländeschummerung in der Krise?, in: Kart.Nachr. Jg. 12, Nr. 1, Feb. 1962, S. 17 - 21
- Hölzel, F.: Generalization Problems in Hill Shading, in: Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen, Reihe V, Heft Nr. 5, 1963, S. 23 - 33
- Hölzel, F.: Perspektivische Karten, in: Int.Jb.f.Kart., III 1963, S. 100 - 107
- Hsu Mei-King and Porter Philip, W.: Computer Mapping and Geographic Cartography: in Ann. of the Ass. of Am.Geogr., Vol. 61, Nr. 4, Dec. 1971, S. 796 - 799
- Hufnagel, H.: Das Programmieren von Kartennetzentwürfen und die Anwendung der Programme im Unterricht der Abteilung Kartographie der Staatsbauschule München, in: Kart.Nachr. Jg. 20, Nr. 4, Aug. 1970, S. 135 - 140
- IBM: OS PL/1 Checkout and Optimizing Compilers: Language Reference Manual SC33 -0009 -1
- IBM: OS PS/1 Optimizing Compiler; Programmers Guide, SC33 - 0006 - 0, 1971
- IBM: OS PL/1 Optimizing Compiler: General Information, GC33 - 0001 - 1, 1971
- Jenks, G.F. and Knos, S.: The use of Shading Patterns in Graded Series, Annals of AAG, Vol. 51, Nr. 3, 1961, S. 316 - 334
- Jenks, G.F. and Coulson, M.R.: Class Intervals for Statistival Maps, Int.Jb.f.Kart. III, 1963, S. 119 - 134
- Jenks, G.F. and A. Brown: Three-dimensional Map Construction, in: Science, Vol. 154, Nr. 3750, Nov. 1966, S. 857 - 864
- Jenks, G.F. and Crawford, P.W.: A three-dimensional bathyographic Map of Canton Island, in: Geogr. Review, Vol. LX, Nr. 1, Jan. 1970, S. 69 - 87
- Imhof, E.: Geländedarstellung in Karten grosser und mittlerer Massstäbe, Vortrag Natf.Ges. Zürich, Jan. 1947
- Imhof, E.: Probleme der kartographischen Geländedarstellung, in: Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen, Reihe I, Nr. 10, 1959, S. 9 - 31
- Imhof, E.: Isolinienkarten, in: Int.Jb.f.Kart. I, 1961, S. 64 - 97
- Imhof, E.: Kartenverwandte Darstellungen der Erdoberfläche, Eine systematische Uebersicht, in: Int.Jb.f.Kart. III, 1963, S. 54 - 100
- Imhof, E.: Kartographische Geländedarstellung, W. de Gruyter & Co., Berlin 1965

- Imhof, E.: Ueber den Aufbau einer Lehre der thematischen Kartographie, in: Kart. Nachr., Jg. 19, Nr. 6, Dez. 1969, S. 218 - 222
- Imhof, E.: Ueber Gebirgskartographie, in: Int.Jb.f.Kart., XI, 1971, S. 70 - 74
- Imhof, E.: Thematische Kartographie, W. de Gruyter, Berlin, New York 1972, 360 S.
- Itten, J.: Kunst der Farbe, Studienausgabe, Otto Maier, Ravensburg 1970
- Junius, H.: Herstellung thematischer Karten mit einer numerisch gesteuerten Zeichenanlage, in: Kart.Nachr. Jg. 3, Nr. 73, S. 104 - 107
- Kadman, N.: Mini-Manual for the Komplot Thematic Mapping System, University College of Swansea, Geogr. Dept., July 1971
- Kao, R.C.: The use of Computers in the Processing and Analysis of Geographic Information, 1968, in: Berry, B.J.L. and Marble, D.F.: Spat. Anal., a Reader in Stat. Geogr., Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 1968
- Keates, J.S.: Techniques of Relief Representation, Surveying and Mapping, Vol. XXI, Nr. 4, Dec. 1961, S. 459 - 463
- Kilchenmann, A. und Gächter E.: Neuere Anwendungsbeispiele von quantitativen Methoden, Computer und Plotter in der Geographie und Kartographie, Geogr. Helv. 2, 1969, S. 68 - 81
- Kilchenmann, A., Steiner, D., Matt, O. und Gächter, E.: Computer-Atlas der Schweiz, Kümmerli & Frei AG, Bern 1972
- King Leslie, J.: Statistical Analysis in Geography, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 1969
- Kishimoto, H.: Cartometric Measurements, Diss. Univ. Zürich 1968
- Kishimoto, H. und Boesch, H.: Einige Bemerkungen zur kartographischen Ausbildung von Geographen, in: K+F Kreis, Kümmerli und Frey Bern, Feb. 1971
- Kishimoto, H.: Ein Beitrag zur Klassenbildung in statistischer Kartographie unter besonderer Berücksichtigung der maschinellen Herstellung von Choroplethenkarten, in: Kart.Nachr., Jg. 22, Nr. 6, 1972, S. 224 - 238
- Klove, R.: Statistical Cartography at the U.S. Bureau of Census, in: Int.Jb.f.Kart., 1967, S. 191 - 199
- Knorz, P.: Einführung in die elektronische Datenverarbeitung, Ein Fernsehkurs im Medienverbund, Bd. 3, TR-Verlagsunion, München 1972
- Koeman, C.: Forderungen der Kartographie an die Reproduktionstechnik, in: Kart. Nachr., Jg. 20, Nr. 1, 1970, S. 2 - 11
- Koeman, C.: Die Geländedarstellung von Hochgebirge in kleinmassstäbigen Karten, überprüft durch Satellitenbilder, in: Kart. Nachr., Jg. 21, Nr. 1, Feb. 1971, S. 1 - 16
- Koeman, C.: Das Kommunikationsprinzip in der Kartographie, in: Kart. Nachr., Jg. 22 Nr. 2, April 1972, S. 49 - 54
- Kolačny, A.: Kartographische Information - ein Grundbegriff und Grundterminus der modernen Kartographie, in: Int.Jb.f. Kart., X, 1970, S. 186 - 193
- Koldayev, P.K.: Plastic Colour and Shadow Relief Representation, Academy of Sciences of the USSR, Nt. Council of Soviet Cartographers, Moscow 1967

- Koldayev, P.K.; Bashlavina, G.N., Myshetskaya, E.N.: Scientific and Methodical Principles and Means of Mountain Representation in the Soviet School Maps, in: Int.Jb.f.Kart., XI, 1971, S. 97 - 101
- Kreyszig, E.: Statistische Methoden und ihre Anwendungen, 2. Aufl., Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen 1967
- Labasse, J.: Quantitatif et Qualitatif: Relexions d'un Géographe, in Norsk Geografisk Tidsskrift, Bind 23, Hefte 4, 1969, S. 185 - 192
- Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis: Selected Projects, Harvard University, Cambridge 1970
- Langer, E.: Ueber die Probleme der Darstellung der dritten Dimension in der Karte - unter Berücksichtigung der historischen Entwicklung, in: Haack-Festschrift, Haack, H., Gotha 1957, S. 110 - 120
- Linder, A.: Statistische Methoden für Naturwissenschaftler, Mediziner und Ingenieure, 3. Aufl., Birkhäuser Verlag, Basel und Stuttgart 1960
- Lindgren, E.S.: N-dimensional Spatial analysis and Computer Graphics, Harvard Papers in Theoretic Geography, Paper No. 16, April 1968
- Lyons, H.G.: The Representation of Reliefs on Maps, Ministry of Finance Egypt, National Printing Department, Cairo 1909
- Marsal, D.: Statistische Methoden für Erdwissenschaftler, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1967
- Marsik, Z.: Automatic relief Shading, in: Photogrammetria, Vol. 27, No. 2, Elsevier Amsterdam, March 1971, S. 57 - 70
- Matti, W.: Das Planquadrat als Hilfsmittel für städtische Strukturanalysen, in: Gliederung des Stadtgebietes, Forschungs- und Sitzungsberichte, Bd. 42, Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Gebr. Jänecke Verlag, Hannover 1968, S. 97 - 118
- Mc Gary, N. and Mc Manus, D.: Cartographic Representation of Submarine Topography, in: Surveying and Mapping, Vol. XXIX, No. 1, March 1969, S. 51 - 54
- Meier, P.: Numerische Methoden der Relieferfassung, in: Geogr.Helv., Jg. 24, Nr. 3, 1969, S. 146 - 151
- Meschkowski, H.: Mathematisches Begriffswörterbuch, Hochschultaschenbuch, Bibliographisches Institut, Mannheim
- Mietzner, H.: Die Schummerung unter Annahme einer naturgemässen Beleuchtung, in: Kart.Nachr., Jg. 9, Heft 3, 1959, S. 73 - 79
- Monmonier, M.S.: The Production of Shaded Maps on the digital Computer, in: The Prof. Geogr., Vol. XVII, No. 5, Sept. 1965, S. 13 - 14
- Monmonier, M.S.: Computer mapping with the digital increment plotter, in: The Prof. Geogr., Vol. XX, No. 6, 1968
- Muehrcke, Ph.: Thematic Cartography, in: Ass. of Am. Geographers, Commission on College Geography, Resource Paper No. 19, Washington D.C. 1972
- Müller, A.: Prakt. Farbenlehre für Schule, Beruf etc., Chromos Verlag, Winterthur 1961
- Neumann, J.: Die Experimental Cartography Unit (ECU) in Oxford und London, in: Kart. Nachr., Jg. 20, Nr. 3, S. 88 - 93, 1970

- Nordbeck, S.: Location of areal data for computer precessing, in: Lund studies in Geogr. Ser. C, No. 2, The royal University of Lund, Sweden 1962
- Nordbeck, S. and Rystedt, B.: Computer Cartography, shortest route programs, Lund studies in Geogr., Ser. C, geogr. & math. Geography, No. 9, 1969
- Olivier, R.: Discretisation du relief de la Suisse romande, Bulletin No. 187 des laboratoires de Géologie, Minéralogie, Géophysique et du musée Géologique, Imp. Charle - Roy, Lausanne 1971
- Parkel, F.T.: Anatomie eines Grossrechners, in: NZZ, Nr. 29, 19. Jan. 1970, S. 25 - 26
- Peucker, T.K. Tichenor, M. und Rase, W.-D.: Die Automatisierung der Methode der schrägen Schnittflächen, in: Kart.Nachr., Jg. 22, Nr. 4, 1972/a, S. 143 - 148
- Peucker, T.K.: Computer Cartography, a working Bibliography, Dept. of Geogr. Univ. of Toronto, Disc. Paper No. 12, Aug. 1972/b
- Peucker, T.K., Tichenor, M., Rase W.D.: The Computer Version of three Relief Representations, 6th Technical Conferenced ICA, Ottawa August 1972/c
- Peucker, T.K.: Computer Cartography, Commission on College Resource Paper No. 17, Ass. of Am.Geogr., Wash. D.C., 1972/d
- Pillewitzer, W.: Wenschow-Reliefkartographie, in: Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen, Reihe 1, Nr. 10, Frankfurt 1959, S. 56 - 59
- Pöhlmann, G.: Heutige Methoden und Verfahren der Geländedarstellung, in: Kart.Nachr., Jg. 8, Nr. 3, 1958, S. 71 - 78
- Prince, D.M.: Interactive Graphics for computer-aided Design, Addison-Wesley Publishing Company Inc. 1971, S. 301
- Queissner, E.F.: Probleme des automatisierten Kartierens, in: Arbeiten aus dem Vermessungs- und Kartenwesen der DDR, Band 9, Leipzig 1966, S. 5 - 32
- Rase, W.D. und Peucker, Th.: Erfahrungen mit einem Computer-Programm zur Herstellung thematischer Karten, in: Kart.Nachr., Jg. 21, Nr. 2, 1971, S. 50 - 57
- Richarme, P.: The Photographic Hill Shading of Maps, in: Surveying and Mapping, Vol. XXIII, No. 1, 1963, S. 47 - 59
- Riffe, Ph.D.: Conventional Map, Temporary Map or Nonmap? in: Int.Jb.f.Kart., X, 1970, S. 95 - 103
- Ristow, W.W.: Three-dimensional Maps, Library of Congress, Washington 1964
- Roberts, J.A.: The Topographic Map in a World of Computers, in: The Prof. Geogr., Vol. XLV, Nr. 6, Nov. 1962, S. 12 - 13
- Roberts, L.G.: Picture Coding using pseudorandom noise, IRE Transaction Information Theory, IT-8, Feb. 1962, S. 145 - 154
- Robinson, A.H. and Thrower, N.J.W.: A new Method of Terrain Representation, in: Geogr. Review, Vol. XLVII, No. 4, Oct. 1957, S. 507 - 520
- Robinson, A.H.: The Cartographic Representation of the Statistical Surface, in: Int.Jb. f.Kart., I 1961, S. 53 - 63
- Robinson, A.H. and Sale, R.D.: Elements of Cartography, Wiley Int. Ed, 3d ed, New York 1969
- Rosenfeld, A.: Picture Processing by Computer, Academic Press New York, London 1969
- Rosing, K.E.: Character of a Conurbation, a Computer atlas of Birmingham, University of London Press LTD, 1971, 126 S.

- Schiede, H.: Das Element Farbe in der thematischen Kartographie, in: Arnberger Grundsatzfragen der Kartographie, Wien 1970
- Schmidt-Falkenburg, H.: Kartographie, Sonderdruck aus W. Tietze: Westermanns Lexikon der Geographie, Georg Westermann Verlag, Braunschweig 1966
- Schmidt, W.E.: The Automap System, in: S+M, Vol. XXIX, No. 1, March 1969
- Schneider, C.: Taschenlexikon der Datenverarbeitung, Forkel-Verlag Stuttgart, 1967
- Sherman, J.C.: New Horizons in Cartography: Functions, Automation and Presentation, in: Int. Jb. f. Kart., Jg. 1, 1969, S. 13 - 19
- Spiess, E. und Mitarbeiter: Kommentare zu den Kartenproben des Orthophotos Châtel St. Denis 1 : 25'000, Manuskript Kart.Inst. ETH Zürich, Okt. 1970
- Spiess, E.: Eigenschaften und Kombinationen graphischer Variablen, in: Grundsatzfragen der Kartographie, Wien 1970, S. 279 - 293
- Spiess, E.: Wirksame Basiskarten für thematische Karten, in: Int. Jb. f. Kart., XI, 1971, S. 224 - 237
- Stacy, J.R.: Shortcut Method for the Representation of Shaded-Relief Illustrations, in: Geological Survey Research 1962, Geol. Survey Prof. Paper 450-D, US Gov. Printing Office, Washington 1962, S. 164 - 165
- Stoessel, O.C.: Photomechanische Reliefschummerung, in: Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen, Reihe I, Nr. 10, 1959, S. 53 - 55
- Stump, H.: Versuch einer Darstellung der Entwicklung und des Standes der kartographischen Reproduktionstechnik, in: Int. Jb. f. Kart., I, 1961, S. 136 - 149
- Tanaka-Kitirô: The orthographical Relief-Method of representing hill features on a topographical map, in: The Geographical Journal, Vol. LXXIX, No. 3, March 1932
- Tanaka-Kitirô: The Relief Contour Method of Representing Topography on Maps, in: The Geographical Review, Vol. XL, No. 3, July 1950, S. 444 - 456
- Taylor, D.R.F. and Douglas, D.H.: A Computer Atlas of Ottawa-Hull, Dept. of Geography, Charleton University Ottawa, II. ed., Sept. 1970
- Thompson, D.: A selective Bibliography on Quantitative Methods in Geography, in: Geography, Vol. 54, Part. I, Jan. 1969
- Thompson, M.M.: Automation in topographic mapping, XIth Pan American Consultation on Cartography, Pan American Institute of Geography and History, Washington D.C. 1969
- Thrower, N.J.: Extended Uses of the Method of Orthogonal Mapping of Traces of Parallel, Inclined Planes with a Surface, especially Terrain, in: Int. Jb. f. Kart., Jg. III, 1963, S. 26 - 38
- Thrower, N.J.: Relationship and discordancy in cartography, in: Int. Jb. f. Kart., Band VI, 1966, S. 13 - 24
- Tobler, W.R.: Automation and Cartography, in: Geogr. Review, Vol. XLIX, No. 4, Oct. 1959, S. 526 - 534
- Tobler, W.R.: Geographischer Raum und Kartenprojektionen, in: D. Bartels: Wirtschafts- und Sozialgeographie, Köln, Berlin, 1970/a, S. 262 - 277
- Tobler, W.R.: Regional Analysis of Time Series Extended to two Dimensions, Informal Report at the Math. Social Sciences Board Conference on the Mathematics of Population, Univ. of Chicago, July 1970/b

- Tobler, W., R.: Selected Computer Programs, Dept. of Geogr., University of Michigan, Ann Arbor 1970/c
- Tomlinson, R. F.: An Introduction to the Geographic Information System of the Canada Land Inventory, in: ASP-ACSM Annual, Convention Washington, March 1967
- Tomlinson, R. F.: Computer based Geographical Data Handling Methods, in: H. Boesch: New Possibilities and Techniques for Land Use and related Surveys, The World Land Use Survey Occ. Paper No. 9, Geogr. Publ. Ltd., Berkhamsted Herts, England 1970/a, S. 105 - 120
- Tomlinson, R. F.: Environment information systems, UNESCO/IGU Symposium Ottawa, Sept. 1970/b
- Tomlinson, R. F.: Geographical Data Handling, Symposium Edition, a Publication of the IGU on Geogr. Data Sensing and Processing for the UNESCO/IGU 2nd Symposium on Geogr. Inform. Systems, Ottawa, Aug. 1972
- Traversi, C.: Les cartes de l'avenir si l'on a besoin, quels nouveaux styles et types? in: Int. Jb. f. Kart., X 1970, S. 124 - 127
- Wiechel, H.: Theorie und Darstellung von nicht gesetzmässig gebildeten Flächen mit Rücksicht auf die Bergzeichnung, in: Der Civilingenieur, Jg. 24, 1878, S. 335 - 363
- Williams, J.: Digitized Ordonance Survey maps, in: Geogr. Mag., Vol. XLIV, No. 11, 1972
- Willkerson, H. R.: Reliefschummerung durch Photographie von Geländemodellen, in: Nachrichten aus den Karten- und Vermessungswesen, Reihe I, Nr. 10, 1959, S. 60 - 62
- Wilson, J. F.: Die Dunkelplattenmethode für die Reliefdarstellung, in: Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen, Reihe I, Nr. 10, 1959, S. 40 - 52
- Winterbotham, H. St. L.: Note of Professor Kitiro's Method of orthographical Relief, in: The Geogr. Journal, Vol. LXXX, 1932, S. 518 - 520
- Winterhager, H. und Engelhardt, H.: Einführung in die elektronische Datenverarbeitung, Ein Fernsehkurs im Medienverbund, Band 2, TR-Verlagsunion, München 1972
- Witt, W.: Thematische Kartographie, Methoden und Probleme, Tendenzen und Aufgaben, Gebr. Jänecke Verlag, Hannover 1967
- Yoeli, P.: Relief and Colour, in: The Cartographic Journal, Dec. 1964, 2 S.
- Yoeli, P.: Analytische Schattierung, in: Kart. Nachr. Jg. 14, Nr. 4, 1965/b, S. 142 - 148
- Yoeli, P.: Analytical Hill Shading, in: S+M, Vol. XXV, No. 4, Dec. 1965/b, S. 573 - 579
- Yoeli, P.: Analytische Schattierung und Dichte, in: Kart. Nachr., Jg. 16, No. 1, 1966/a, S. 17 - 23
- Yoeli, P.: Die Mechanisierung der analytischen Schattierung, in: Kart. Nachr., Jg. 16, Nr. 3, 1966/b, S. 103 - 107
- Yoeli, P.: Analytical Hill Shading and Density, in: S+M, Vol. XXVI, No. 2, June 1966/c, S. 253 - 259
- Yoeli, P.: Die Richtung des Lichtes bei analytischer Schattierung, in: Kart. Nachr. Jg. 17, Nr. 2, 1967/a

- Yoeli, P.: Topographische Karten und Rechenautomaten, in: Kart.Nachr., Jg. 17, Nr. 4, 1967/b, S. 116 - 118
- Yoeli, P.: The Mechanisation of analytical hill shading, in: The Cartographic Journal, Dec. 1967/c, S. 82 - 88
- Yoeli, P.: Reliefdarstellung durch Höhenkurven mit Rechenautomaten und Kurvenzeichnern und deren Genauigkeit, in: Zeitschrift für Vermessungswesen, Jg. 93, Heft 2, 1968, S. 55 - 60
- Yoeli, P.: An experimental electronic system for converting contours into hill-shaded relief, in: Int.Jb.f.Kart., XI 1971, S. 111 - 114

ANHANG A

Verwendete Begriffe aus der elektronischen Datenverarbeitung

(Zusammengestellt nach C. Schneider: Taschenlexikon der Datenverarbeitung, Forkel-Verlag Stuttgart-Degerloch, 1967)

Algorithmus	heisst Rechenvorschrift und bedeutet einen Rechengvorgang zur Lösung eines Problems innerhalb einer endlichen Anzahl von Rechenschritten.
Ausgabe	engl. output, nennt die Arbeitsergebnisse, zu denen der Rechner aufgrund seines Programms und der Eingabedaten gekommen ist, was sich in Lochkarten, bedruckten Formularen, Lochstreifen, Magnetbändern, Bildschirm, akustischer Ausgabe und Kombinationen dieser Aussageformen und der Uebergabe der ermittelten Daten an die verschiedenen Ausgabegeräte, wie Lochkartenstanzer, Drucker usw. zeigt.
batch-processing	bedeutet die schubweise, sukzessive Verarbeitung des Programms bzw. der einzelnen Aufgaben eines Rechenzentrums.
Befehle, Instruktionen	sind Informationen, die eine Aktion auslösen, sind Maschinen- oder Schalteranweisungen, die angeben, welche Operationen ablaufen sollen und wieviele Daten und maschinelle Einsätze für ihre Durchführung gebraucht werden.
Bereich	bezeichnet eine definierte Speicherstelle innerhalb des Programms, z. B. Ein- und Ausgabebereich, Stanz- und Druckbereich
Bibliotheksprogramme	Unterprogramme, im Hauptspeicher oder einem Systemspeicher verfügbar; einmal aufgestellt, können sie für einen bestimmten Vorgang immer wieder benutzt werden.
Bildschirm	engl. display, ist ein technisches, visuelles Ein- und Ausgabegerät, das aus einer alphanumerischen Eingabetastatur, einer Reihe von Funktionstasten, Anzeigelampen und dem "Schirm" besteht und Ein-/Ausgabe-Informationen in Klartext im Koordinatensystem wiedergeben kann. Die Uebertragung zur DVA über Fernsprechleitungen erfolgt mit 1200, 2400 oder 4800 bit/s.
binär	= aus zwei Einheiten bestehend, Darstellungsmöglichkeit eines Sachverhaltes. Es bedeutet die Fähigkeit, einen von zwei möglichen Werten anzunehmen, also 0 oder 1, Ja oder Nein, Ein oder Aus. Die binären Ziffern lassen sich elektrisch leicht darstellen: der Strom fliesst oder nicht, ein Impuls ist vorhanden oder nicht.
Bit	ist eine Informationsmasszahl, die Zähleinheit für Binärentscheidungen, der allgemeine Name für die binären Bezeichnungen 0 und 1, die Abkürzung für binary digit = Binärziffer oder -stelle. Mit Bits werden die Informationsmengen gemessen, gespeichert, bearbeitet und übertragen, wobei eine Auswahlmöglichkeit oder eine Ungewissheit ausgedrückt werden kann.
Byte	ist eine moderne Fassung der Informationseinheit, eine Grundspeichereinheit, in der ein bestimmter Code definiert ist, und die acht Bits enthält.

Compiler	ist eine Programmierhilfe, die einmal definierte Begriffe und Programmteile einer bestimmten anwendungsorientierten Programmiersprache in ein Verarbeitungsprogramm umwandelt. Er ist ein Uebersetzer für ein in allgemeiner Sprache geschriebenes Programm in die eigentliche Maschinensprache.
Computer	vom lat. computare = rechnen, also Rechenmaschine, -gerät, -anlage. Bei ihm wird aber nicht nur gerechnet - ca. 200'000 mal schneller als der Mensch mit einer gewöhnlichen Tischrechenmaschine; arithmetische Operationen in einer Stunde, zu denen ein Mensch früher 20 Jahre brauchte - sondern es werden weiterführende Operationen und Funktionen durchgeführt, wobei das Schwergewicht auf dem sog. internen Speicher in seiner Form als Kernspeicher, Dünnschicht-Filmspeicher oder Magnetdrahtspeicher liegt.
Datei	ist die Sammlung von sachlich zusammengehörigen Daten in Lochkarten, Lochstreifen, Magnetband usw., eine Analogbildung zu dem Wort Kartei, die in ihrem Begriffsinhalt dem amerikanischen Wort file entspricht.
Daten	heisst das Gegebene, sind Ziffern, Buchstaben, ggf. Informationen, die untereinander tätigkeitsbedingt wirksam in Beziehung gebracht werden können.
Datenträger	sind alle Medien, auf denen Daten zum Zwecke der Verarbeitung in einer durch maschinelle Hilfsmittel lesbaren und ausdeutbaren Form niedergelegt werden können. Zu ihnen zählen nur solche Speichermedien, die der unmittelbaren Eingabe in die Eingabegeräte dienen: Lochkarten, Magnet-schrift- sowie Klarschriftbelege, Lochstreifen, Magnetbänder, Magnet-platten, Magnetkarten.
digital	lat. digitus = der Finger, bedeutet in der Datenverarbeitung soviel wie "ziffernmässig". Die digitale Darstellung von Daten und Informationen ist i. w. die Darstellung in Form von Binärziffern.
direkter Zugriff	engl. random access, geht zu einem Datenbestand einer Speichereinheit, wobei die Adressen, durch welche Informationen aufgerufen werden, vollkommen beliebig aufeinanderfolgen können. Durch Angabe ihres Standortes, des Platzes der Adressen können die Informationen unmittelbar abgerufen werden. Bei Speichermedien ohne direkten Zugriff, z. B. beim Magnetband, müssen die Standorte von vorn bis hinten daraufhin geprüft werden, ob sie die benötigte Information enthalten.
EDV	= elektronische Datenverarbeitung, bezieht sich auf den Ablauf langer Verarbeitungs-ketten ohne menschlichen Eingriff, also automatisch. Seit 1941 ist sie in stetig steigender Entwicklung.
Eingabe	engl. input, umfasst die Aufnahme von Daten sowie eines Programmes in einen Rechner, und zwar über Lochkarte, Lochstreifen, Magnetband, Magnetplatte.
externe Speicher	sind von der Zentraleinheit gesondert aufgestellt, arbeiten zwischenzeitlich mit ihr, um die erforderlichen Daten an die internen Speicher abzugeben.
FORTTRAN	= formula translating ist eine problemorientierte, leistungsfähige und flexible Programmiersprache für mathematisch-wissenschaftliche Aufgaben.
Information	das vielleicht "menschlichste" aller Probleme, an das die Naturwissenschaft bis jetzt herangegangen ist, ist ein kybernetischer Grundbegriff, heisst Angabe, Mitteilung, Nachricht, Unterlage, die den Empfänger zur Auswahl und Entscheidung, zu einem bestimmten Verhalten, insbesondere Denkverhalten, veranlasst.

Informationssystem	bezeichnet die Koordination aller Aspekte einer einzigen Information zu einem geschlossenen Gesamtsystem.
input	s. Eingabe
interne Speicher	sind Bestandteile des Computers, gekennzeichnet durch schnellen Zugriff, z.B. Magnetkernspeicher, Magnettrommelspeicher, Magnetdrahtspeicher, Dünnschicht-Filmspeicher.
kompatibel	bedeutet vertragbar, verträglich, Verträglichkeit verschiedener EDVA und die Austauschbarkeit der Modelle eines Systems wie auch der Programme, insbesondere bei den neuen Rechnerfamilien.
Lochkarten	seit 1880 durch Hollerith entwickelt, sind ebenso Datenträger wie Hilfsmittel der Maschinensteuerung.
Lochstreifen	dienen weitgehend dem gleichen Zweck wie Lochkarten, bestehen aus leicht pergamentiertem Papier oder aus Kunststoff und sind 0.075 bis 0.09 mm dick, 17.4, 22.2 oder 25.4 mm breit.
Magnetband	ist ein Datenträger, der die Informationen in Form magnetisierter Stellen auf einem langen Band speichert, das auf einer Basis von Zellulose-Acetat oder Polyester, Mylar genannt, besteht, seltener aus Metall. Eine Seite ist mit einer sehr dünnen Eisenoxidschicht überzogen.
Magnetkernspeicher	auch Ferritkernspeicher genannt, bezeichnet den "internen Speicher", Haupt- oder Arbeitsspeicher, der aus Tausenden kleiner Magnetkerne bzw. Mangetringe besteht, die in einem regelmässigen Muster wie die Kästchen auf einem Schachbrett angeordnet sind. Dieser Speicher ist das Erinnerungsvermögen des Elektronenrechners, und zwar in Zahlen des binären, oktalen oder hexalen Zahlensystems.
Maschinensprache	= hardware representation ist i. e. S. die spezifische Formulierung und materielle Gestaltung von Befehlen und Datenmaterial in einer Form, die von der Maschine "verstanden" und verarbeitet wird, und zwar in Binärwerten.
mnemotech-nischer Code	ist eine leicht merkbare Befehlsdarstellung, bei der die Bezeichnungen der Instruktionen so abgekürzt sind, dass das Erlernen und Behalten der Bedeutungen erleichtert werden.
Modell	meint einen künstlichen Mechanismus, ist ein dem Original analoges physikalisches oder abstraktes System, das möglichst viele Wesensmerkmale des Originals besitzt.
Operator	heisst der Maschinenbediener, der Maschinenspezialist, der das vom Programmierer gefertigte Programm über ein Eingabegerät in die Maschine lädt und die entsprechenden Datenkarten und Magnetbänder eingibt.
output	s. Ausgabe
periphere Einheiten	auch Randeinheiten oder "die Peripherie" genannt, sind sämtliche Maschinen, die sich ausserhalb der Zentraleinheit befinden und i. a. mit ihr verbunden sind.
PL/1	engl. programming language 1, anfänglich auch NPL genannt, ist eine neue höhere Programmiersprache, die in sich i. w. die Begriffe von FORTRAN und COBOL vereint und die Grundlage eines neuen realtime-programming bilden soll, gewissermassen eine industrielle Standardsprache, wandlungsfähig, formgелockert, unterschiedlich einsetzbar, eine erweiternde Zusammenfassung von ALGOL, COBOL und FORTRAN mit den Vorteilen eines echten Ueberbaues.

Platten- speicher	ist ein Grossraumspeicher in Form von Magnetplatten, die auf einer Achse befestigt sind und mit hoher Geschwindigkeit rotieren. Ein Zugriffsmechanismus, der sich auf jede Plattenspur einstellen kann, erlaubt direkten Zugriff zu jedem gespeicherten Datensatz.
Plotter	oder X-Y-Zeichner ist ein elektronisches Zeichengerät (seit 1960), ein Linien- und Kurvenzeichner mit bis zu 18'000 Digital-Schritten/min. Dieser Ausgeber besteht aus einer drehbaren, mit Zeichenpapier bespannten Walze bis zu max. 36 m Länge, zu der sich parallel ein Zeichenstift bewegt, um gewünschte Ergebnisse in graphischer Form (Kurven oder Figuren) darzustellen.
Programm	auch Routine genannt, bezeichnet die Aufeinanderfolge, auch die Gesamtheit aller Befehle oder Instruktionen.
Programmiersprachen	engl. coursewriters, sind in erster Linie ein Hilfsmittel zur Formulierung von Programmen in einer bequemen, verständlichen Form.
Prozedur	engl. procedure, bedeutet bei den höheren Programmiersprachen die Zusammenfassung mehrerer Befehle zu einem einheitlichen, selbständigen Programm, sog. Unterprogramm.
Random- speicher	= random access memory, ist im wesentlichen ein Speicher mit direktem, sofortigem Zugriff.
Routine	s. Programm
Schnell- drucker	engl. highspeed-printer, sind Ausgabe-Geräte mit Klarschrift in höchster Geschwindigkeit, auch Hochleistungsdrucker genannt. Im Gegensatz zum stellenweisen Schreiben der Schreibmaschine vollzieht sich das Drucken zeilenweise. Schnelldrucker arbeiten 3- bis 400 mal schneller als eine gute Schreibmaschinenkraft.
sequentiell	bedeutet Speicherung der Befehle in der Reihenfolge, in der sie ausgeführt werden sollen, wie beim Magnetband. Im besonderen ist es ein Merkmal des Lochkartenverfahrens.
Simulierung	ist DV aufgrund eines mathematischen Modells einer bestimmten physikalischen Gegebenheit.
software	ist gewissermassen der ideelle, intellektuelle Teil des Computers, ist das Programmiersystem, ist die Gesamtheit der Programme.
Speicher	sind das maschinelle "Gedächtnis" mit dem Zweck, einige hundert bis viele tausend Befehle als Programmierspeicher und eine geringere oder aber weit grössere Anzahl von Daten in adressierbaren Plätzen als Datenspeicher aufzunehmen, festzuhalten und bereitzustellen.
Speicher- kapazität	in Bit, Byte, Silben, Zeichen, Stellen oder Wörtern ist das Fassungsvermögen eines Speichers.
testen	ist das Heraussuchen und Richtigstellen von Fehlern in einem Programm oder in einer Produktionseinheit einer Rechenanlage.
Unterpro- gramme	auch Subroutinen genannt, die bei zusammengesetzten Befehlen unselbständig ablaufen, sind, an beliebigen Stellen in das Hauptprogramm eingesetzt, in sich geschlossene Teilprogramme für Teilprobleme.
Zeichen	engl. character, ist das unteilbare Element einer andauernden digitalen Information, sind Ziffern, Buchstaben oder Sonderzeichen, die durch eine feste Bit-Kombination dargestellt werden.
Zugriffszeit	ist die Zeitspanne zwischen Aufruf einer Speicherstelle und dem Ende des Schreib- oder Lesevorgangs, ist die Zeit, die benötigt wird, um Angaben im Speicher unterzubringen, zu ändern und von dort wieder abzuholen.

ANHANG B:

Verfahrensbeschreibung zur Verwischung des Punktmusters der Printeroriginale

von F. Furrer, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Kart. Inst. ETH Zürich

1. Einleitung

Gedruckte Rastervorlagen können, sofern die angestrebte Rasterweite nicht jenseits der optischen und photographischen Möglichkeiten liegt, ohne weiteres im Strichverfahren reproduziert werden.

Im Falle der Strichreproduktion von Rasterbildern müssen aber nebst den optischen und photographischen Gegebenheiten noch folgende Bedingungen möglichst gut erfüllt sein:

1. Die Rasterpunkte sollen möglichst randscharf und mit annähernd gleich viel Farbe mit maximaler Dichte (schwarz) auf das Papier gedruckt sein.
2. Die Papieroberfläche sollte möglichst glatt sein, damit Streueffekte an der Papieroberfläche nicht in starkem Masse auftreten.

Die verfügbaren computergedruckten Vorlagen erfüllen die erste dieser Bedingungen nicht; sie zeigen ausserdem eine gewisse Unruhe, die darauf zurückzuführen ist, dass der Printer nicht imstande ist, Rasterpunkte überall mit gleich viel Farbe und ausserdem streng periodisch auf das Papier zu übertragen.

Es ist ohne weiteres möglich, bei der Reproduktion von solchen Vorlagen den Halbtonprozess zu benützen mit dem Zweck, die von der Vorlage gegebenen Rasterpunkte (bzw. die integrale Rasterdichte der Vorlage) in entsprechende Halbtondichten umzusetzen, wobei man die ursprünglichen Rasterpunkte möglichst gut eliminieren will, um der Moirébildung bei "Reproduktion" mit einem Raster ausweichen zu können. Für die Umwandlung von Rasterbildern in Halbtonbilder, die zum Zweck hat, die Rasterpunkte verschwinden zu lassen, sind folgende Verfahren zum Teil bekannt und anwendbar:

1. Unscharfes Einstellen mit abgeblendeter Optik
2. Der Gebrauch einer feinen Mattscheibe. Die dem Original nicht aufliegende Mattseite kann mit sog. Mussiniöl (einem Malfirnis) eingestrichen werden.
3. Die Reproduktion mit einer Blende von sehr kleinem Durchmesser, so dass die Beugung am Loch so stark auftritt, dass die einzelnen Rasterpunkte der Vorlage verschwinden.
4. Die Gitterblende, an deren Löcher ebenfalls Beugung entsteht, sofern die Löcher klein genug sind, kann die Rasterpunkt ebenfalls verschwinden lassen (Statt des Drahtgitters kann auch ein feiner Mattfilm verwendet werden).
5. Mit Hilfe eines Strichstärkenwandlers, dem sog. Entrasterungs-
gerät.
6. Gerasterte Durchsichtsvorlagen können mit schräg zur Vorlageebene rotierender Lichtquelle und unter Zwischenlage einer Distanzfolie zwischen Vorlage und Empfängerschicht belichtet werden.



Gitterblende

2. 22 Anordnung des Kopiergutes

Die Anordnung des Kopiergutes im Kopierrahmen ist aus Abb. 1

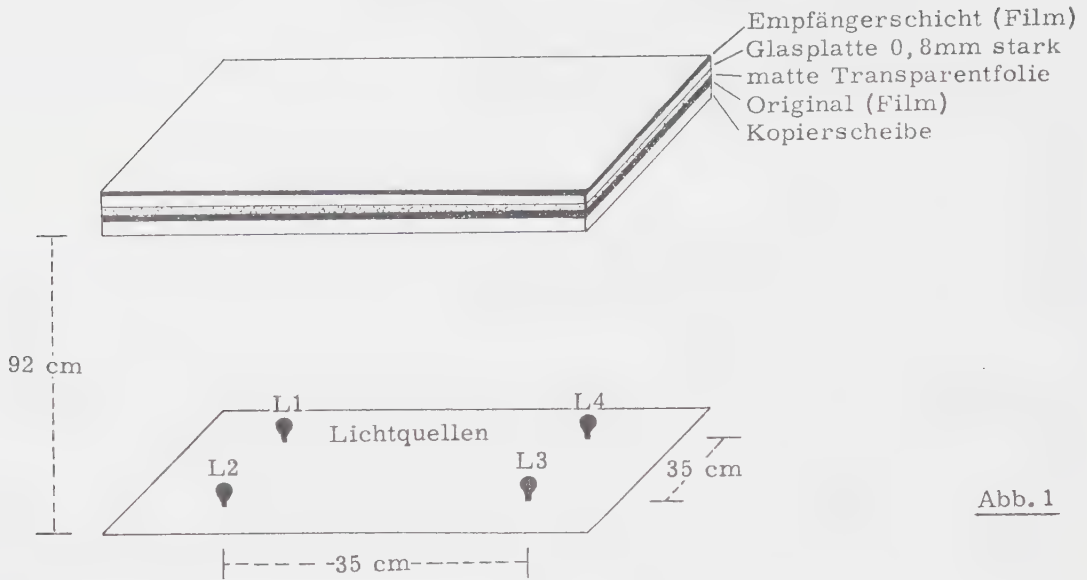


Abb. 1

ersichtlich. Bei der gezeigten Kopieranordnung wird das von der Vorlage modulierte Licht mit einer matten Transparentfolie über die ganze Fläche gleichmässig gestreut. Zwischen Empfängerschicht und Streufolie verändert eine 0.8 mm starke Glasplatte die Beleuchtungsgeometrie derart, dass die angestrebte Punktverschmierung zustande kommt.

2. 23 Der Kopierprozess

Die Vorlage wurde nach der in 2. 22 gezeigten Kopieranordnung bei 10 Lux $\frac{1}{2}$ sec. auf Typon FRN Film belichtet. Der belichtete Film ist im Ilford JD 2 (1+4), 20°C 4 Min. entwickelt worden.

Es resultierten je eine positive und eine negative Halbton-Kopie mit einem Unschärfe-grad, der den ursprünglichen von der Vorlage gegebenen Raster eben noch erkennen liess.

In einem zweiten Schritt wurde die positive Halbtonkopie aus Abb. 1 im Kontakt zu einer negativen Kopie umkopiert und zwar so, dass die Tonwerte dem Resultat der negativen Kopie in Abb. 1 entsprachen. Die beiden so erhaltenen negativen Halbtonkopien wurden im Kontakt umkopiert und mit einem Raster von 60L/cm aufgerastert.

3. Beurteilung des Versuchsergebnisses

3.1 Die Punktverschmierung

Für den gewünschten Reduktionsmassstab und die beim Umkopieren wirksame Beleuchtungs-geometrie resultierten Reproduktionen, bei denen der Raster eben noch schwach sichtbar blieb. Dies erlaubte den Vergleich und die Beurteilung über die Vorlageabhängigkeit der Punktverschmierung. Es konnte eindeutig ermittelt werden, dass ein Rasterpositiv als Ausgangsvorlage in den Lichtpartien eine bessere Rasterpunktverschmierung ergibt als ein Rasternegativ.

Bei fast allen diesen Verfahren geht es darum, entweder durch eine entsprechende Beleuchtungsgeometrie oder durch eine entsprechende Projektion den Rasterpunkt zu "verschmieren".

Da solche Eingriffe nebst dem Einfluss auf die Bildschärfe auch tonreproduktionsmässig unerwünschte Auswirkungen haben könnten, schien es angezeigt, einmal durch einen einfachen Versuch - der nicht Anspruch auf Vollständigkeit erhebt - diesen Sachverhalt zu überprüfen. Dabei ging es nicht darum, den zur Vermeidung des Moirés bei der Reproduktion minimal notwendigen Unschärfegrad in Abhängigkeit der Rasterweite quantitativ zu erfassen, sondern um die Frage, inwiefern ein (notwendigerweise) derart unscharf gemachtes Reliefbild schliesslich brauchbar sein kann.

In diesem Zusammenhang interessierte auch zu wissen, welche Vorlageart - Rasternegativ oder Rasterpositiv - sich für die vorgesehene Art der Entrasterung als günstiger erweisen würde.

Für die Eliminierung von Rasterpunkten geht man davon aus, die Lichtverteilung hinter der gerasterten Vorlage durch eine geeignete Beleuchtungsgeometrie derart zu steuern, dass sich die einzelnen Lichtverteilungen hinter den Rasterpunkten überlagern.

Es ist leicht einzusehen, dass der resultierende Grad der Punktverschmierung abhängig ist von den Rasterpunktabständen, bzw. von der Rasterpunkt-Flächenbedeckung; es können also lokal verschiedene Verschmierungsgrade auftreten, und zwar bei ein und derselben Beleuchtungsgeometrie. Auf das Resultat bezogen hiesse das, dass je nach vorangegangener Vorlageart (Rasternegativ oder Rasterpositiv) dem Betrachter die Lichter oder die Schatten 'besser', d. h. halbtönmässiger erscheinen könnten.

Es ist zu sagen, dass das Auge ganz allgemein auf die Beschaffenheit der Mitteltöne sehr empfindlich reagiert. Das ist auch der Grund, dass man in der Reproduktionstechnik die gefürchteten 'Abbrüche' in den Mitteltönen zu vermeiden versucht.

2. Beschreibung des durchgeführten Versuchs zur Punktverschmierung von computergedruckten Rastervorlagen

2.1 Die Ausgangssituation

2.11 Die Vorlageherstellung

Ein mit dem Computer aufgezeichnetes Schummerungsbild und ein ebenso entstandener Graukeil wurden in der Reprokamera bei vierfacher Verkleinerung auf Typon TL-C-PE-Film belichtet und im Lithentwickler 2 $\frac{1}{2}$ Min. entwickelt. Es resultierte ein 'Strichnegativ' mit der Rasterweite 17 L/cm. Von diesem Negativ wurde im Kontakt ein Positiv auf den gleichen Filmtyp belichtet und mit Lithentwickler entwickelt. Die beiden Reproduktionen (positiv und negativ) sind zusammen mit einem Halbtongraukeil zu einer Vorlage zusammenmontiert worden.

2.2 Praktische Durchführung der Punktverschmierung

2.21 Kopieranordnung

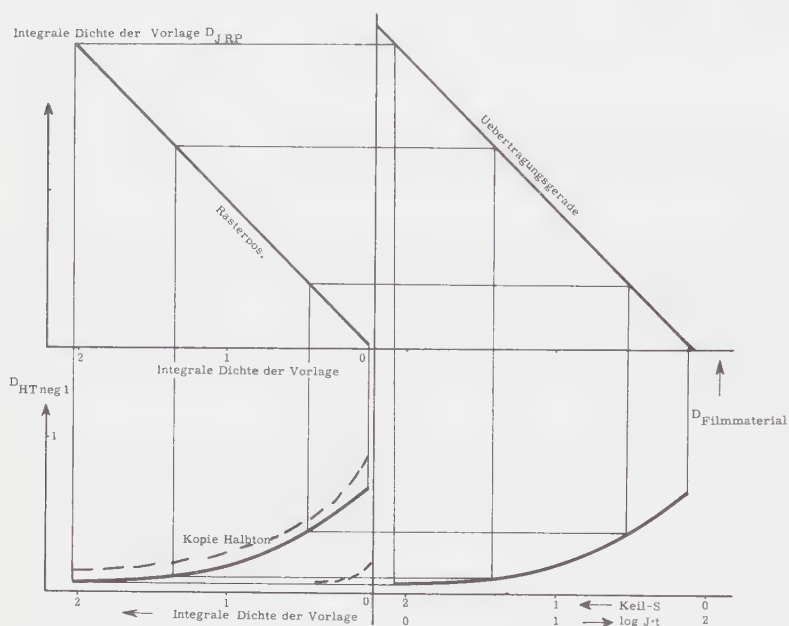
Aus praktischen Ueberlegungen beschränkte man sich darauf, die Punktverschmierung im Kontakt zu versuchen.

Als Kopiergerät diente das Hoh + Hahne Color Kontalux. Für die Belichtung wählte man die aus 4 Lampen des Typs Osram 25W Opal, 220V bestehende Beleuchtungsgeometrie, wie sie in Abbildung 1 dargestellt ist. Der Lampenabstand zum Kopiergut betrug 92 cm. Die Beleuchtungsstärke im Zentrum der Kopierscheibe betrug ca. 10 Lux.

Der Versuch liess aber auch erkennen, dass es ein Irrtum ist zu glauben, dass grössere Unebenheiten, die sich als 'Abbrüche in den Mitteltönen' bedingt durch Ungleichmässigkeiten der Printersignaturen äussern, nicht durch 'Unschärfmachen' verwischt werden können, ohne dass der Unschärfbereich wesentlich vergrössert werden muss.

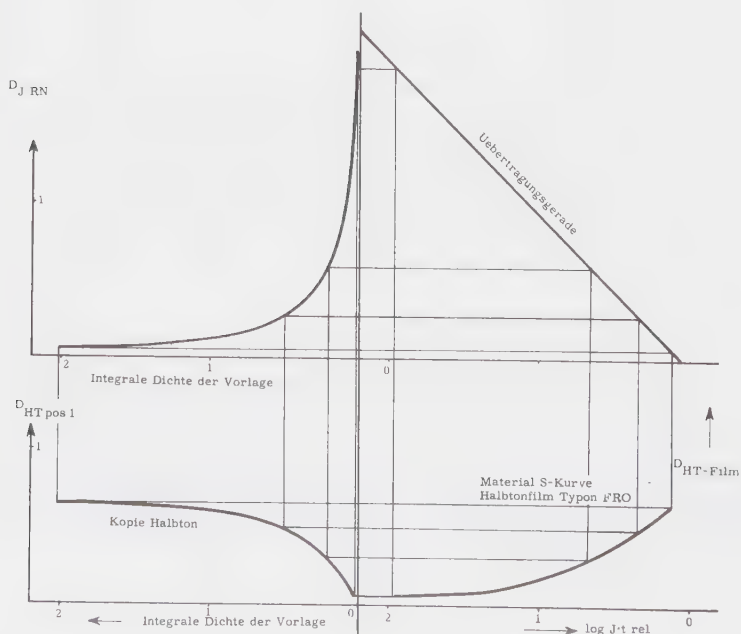
3.2 Die Tonreproduktion

Die photographische Wiedergabe der hergestellten Halbtonkopien nach den gegebenen gerasterten Vorlagen ist im Tonreproduktionsdiagramm Abb. 2 und Abb. 3 aufgezeichnet worden.



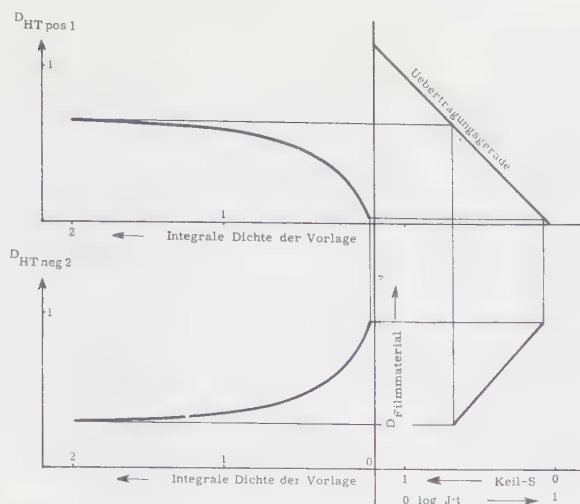
Erster Quadrant: Rasterpositiv;
dritter Quadrant: Material-
schwärzungskurve;
vierter Quadrant: resultierendes
Halbtonnegativ.
Aus den obigen Daten ergab sich
die Uebertragungsfunktion, die
im zweiten Quadranten aufge-
zeichnet ist.

Abb. 2



Erster Quadrant: Rasternegativ;
dritter Quadrant: Material-
schwärzungskurve;
vierter Quadrant: resultierendes
Halbtonpositiv;
Aus diesen Daten wurde die Ueber-
tragungsfunktion im zweiten Quad-
ranten aufgezeichnet.

Abb. 3



Erster Quadrant: Halbtonpositiv aus Abb. 3; dieses wird über einen Halbtonfilm FRN zu einem Halbtonnegativ umkopiert (dritter Quadrant).

Abb. 4

Um einen Eindruck vom Streulichteinfluss bei der Wiedergabe zu erhalten, wurde die Uebertragungsgerade rückwärts über die Filmmaterialschwärzungskurve bestimmt.

Wie das Resultat zeigt, verläuft die Uebertragung im gezeigten Bereich praktisch unter 45° , sodass offenbar bei der gewählten Beleuchtungsgeometrie der Streulichteinfluss nicht wesentlich in Erscheinung trat. Mit Streulicht meint man vagabundierendes Licht, wie es bei der optischen Abbildung durch ein Linsensystem auftritt, und das nicht bildmässig ist, also nichts zum Bildaufbau beiträgt.

Der Anteil Streulicht eines optischen Systems ist kein konstanter Wert, er wird grösser mit zunehmendem Leuchtdichteverhältnis des 'Originals' und ist abhängig von der Ausdehnung der hellen Flächen des Originals. Streng genommen müsste es für jede Aufnahme neu bestimmt werden.

Abb. 5 zeigt die Auswirkung von Streulicht bei der optischen Abbildung für verschiedene %-Werte. Aufgetragen ist der Logarithmus der Beleuchtungsstärke E in der Bildebene als Funktion von $\log$ der Leuchtdichte des Originals L .

Man erwartete, dass bei der gewählten Beleuchtungsgeometrie (Abb. 1) ein hoher Streulichtanteil wirksam sein würde, sodass eine entsprechend starke nichtlineare Verzerrung der Tonwertreproduktion gegenüber dem Original auftreten würde. Dabei könnte natürlich nur der über die gesamte Fläche wirksame Streulichtanteil ermittelt werden.

Dass im versuchten Fall kein globales Streulicht nachweisbar ist, lässt sich darauf zurückführen, dass die Grautonwertreproduktion kaum änderte, dass aber lokal (hinter jedem Rasterpunkt) Ueberstrahlungs- und Streueffekte wirksam sind.

Gerade diese lokalen Streueffekte führen dazu, dass die 'transparenten' Stellen der 'Strich-Originale' (Rasternegativ, Rasterpositiv), also Gebiete kleiner Punktflächenbedeckungen beim Umkopieren mehr lokale Streuung erzeugen als solche grosser Flächenbedeckungen. Damit werden beim Uebergang vom Rasterpositiv zum Halbtonnegativ die Original-'Lichter' (Abb. 6a), beim Uebergang vom Rasternegativ zum Halbtonpositiv dagegen die Schatten (Abb. 6b) stärker verschmiert.

Vom Rasterpositiv (als Ausgangsoriginal) gezogene Halbtonbilder können deshalb im allgemeinen im Endresultat ansprechender wirken als solche von einem Rasternegativ gezogene.

Um für die zu vergleichenden Halbtonpapierbilder tonreproduktionsmässig gleiche Ausgangslage, nämlich Halbtonnegative gleicher Charakteristik zu haben, war es nötig, auf das aus Abb. 2 resultierende Halbtonnegativ eine sogenannte Hochlichtmaske zu legen (gestrichelte Kurve). Von den so hergestellten Negativen wurden die in 2. 23 erwähnten aufgerasterten Positive erstellt.

Die Abb. 6a und 6b zeigen den gleichen Ausschnitt des mitreproduzierten Graukeils, wobei bei Abb. 6a ein Rasternegativ, bei 6b ein Rasterpositiv als Vorlage diente. Bei Abb. 6b sieht man in den hellen Stufen zum Teil noch schwache Reste von unverschmierten Punkten. Dass diese Erscheinung nicht bei allen hellen Stufen gleich stark auftritt, ist darauf zurückzuführen, dass der Printer die Punkte nicht überall mit der gleichen Periodizität ausgedruckt hat.

Einen bildmässigen Gesamteindruck über die Punktverschmierung gibt Abb. 7, die analog Abb. 6a von einem Rasternegativ gezogen worden ist.

Da diese letzt Reproduktionsstufe mehr der subjektiven Bewertung diene, wurde auf die graphische Aufzeichnung der Tonreproduktionsdiagramme Halbtonnegativ - autotypisches Rasterpositiv - Druckresultat verzichtet.

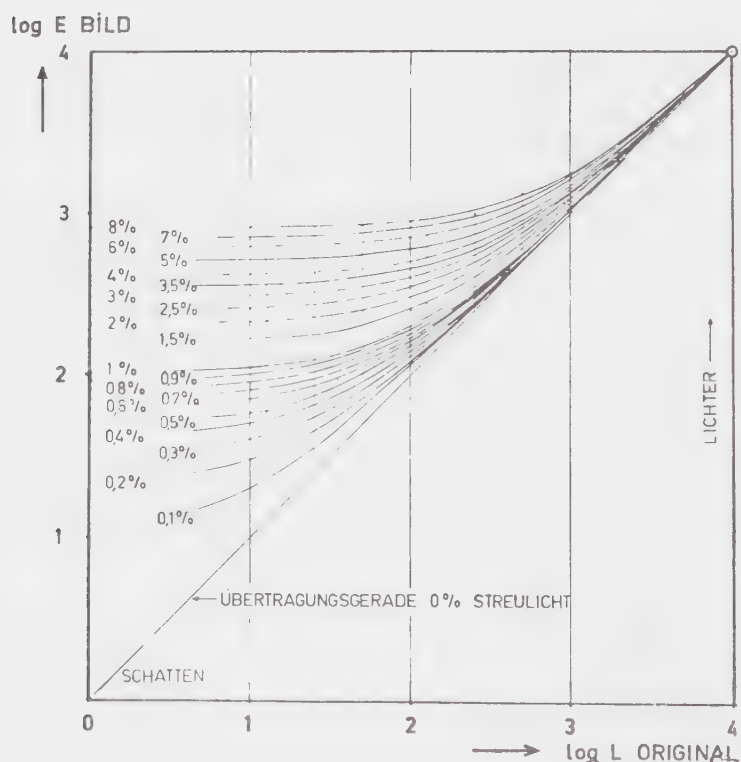


Abb. 5



Abb. 6a

Abb. 6b



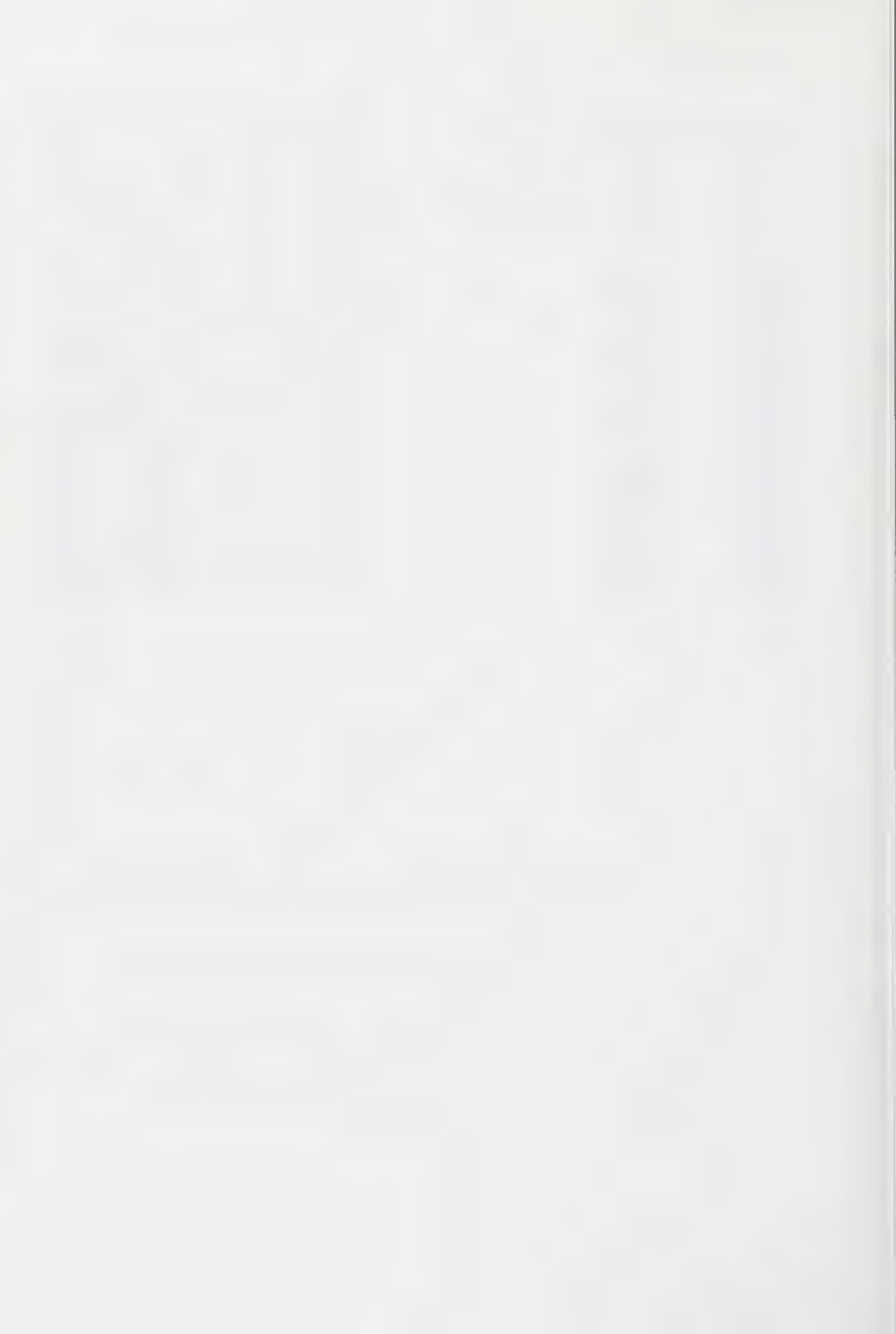
Abb. 7

4. Zusammenfassung

Bei der Behandlung des Problems der halbtönmässigen Reproduktion von gerasterten Bildern mit der gleichzeitigen Eliminierung der Rasterpunkte ging es darum, den damit verbundenen Problemkreis anhand einiger Erfahrungstatsachen und eines praktischen Versuches zu beleuchten.

Parallel mit der Punktverschmierung ist auch ein mehr oder weniger ausgeprägter Unschärfegrad verknüpft. Die Punktverschmierung ist aber in starkem Masse von subjektiven Bildgütekriterien abhängig.

Diese Grenzen zu ermitteln, kann nicht Aufgabe dieser Verfahrensbeschreibung sein. Der Versuch hat ergeben, dass die Rasterpunktverschmierung auch in mehr oder weniger starkem Masse von der Rasterpunkt-Flächenbedeckung abhängig ist. Ausserdem wurde darauf hingewiesen, dass die Tonreproduktion zu berücksichtigen und zu kontrollieren ist. Der Versuch liess erkennen, dass Signaturfehler, die die Grössenordnung der gegebenen Rasterlinienweite um ein mehrfaches übersteigen, nicht in dem Masse ausgeglättet werden können, dass sie nicht mehr störend in Erscheinung treten.



LEBENS LAUF von Kurt Ernst Brassel

Am 8. März 1943 wurde ich - als Bürger von St. Margrethen SG - in Klosters GR geboren, wo ich die Primar- und Sekundarschule besuchte. 1959 trat ich an das Gymnasium der Graubündner Kantons-Schule in Chur, wo ich im Sommer 1964 mit der Maturität (Typus B) abschloss. Nach einem Semester an der Philosophischen Fakultät I der Universität Zürich wechselte ich an die Philosophische Fakultät II der gleichen Hochschule. Hier legte ich Vorprüfungen in Mathematik, Anorg. Chemie, Zoologie und Wirtschaftsgeographie ab und erlangte 1969 mit der Diplomarbeit "Landnutzungsaufnahmen mit Hilfe von Stichprobenmethoden" und Prüfungen in Geographie und Geologie das Diplom als Naturwissenschaftler. Seit 1969 arbeite ich als Assistent von Prof. Dr. H. Boesch am Geographischen Institut der Universität Zürich. In dieser Zeit entstand unter der Leitung der Professoren Dr. H. Boesch und E. Spiess die vorliegende Dissertation.

Im Laufe meines Studiums habe ich bei folgenden Professoren und Dozenten Vorlesungen und Kurse besucht:

Geographie	Andresen, Bachmann, Boesch, Bögli, Furrer, Gensler, Gutersohn (ETH), Guyan, Haefner, Henking, Schüepp, Steffen, Steiner, Suter, Winkler (ETH); King und Tobler (Gastdozenten)
Geologie, Petrographie	Burri, Dal Vesco, Dünner, Gansser, Hantke, Jäckli, Laves, Trümpy
Zoologie	Chen, Hadorn, Hediger, Tardent, Wagner, Ziswiler
Chemie	Dreiding, Eugster, Ludwig, Oswald
Mathematik, EDV	Bauknecht, Guttman, Kohlas, Strebel, Van der Waerden
Verschiedenes	Bickel, Büchner, Christen, Halpérin, Kuhn-Schnyder, Fr. V. Meyer, Rueff (ETH), Schmittchen, Woodtli, Würzler

